

Manuel Albornoz Cabello
Javier Meroño Gallut

Procedimientos generales de fisioterapia

Práctica basada en la evidencia



booksmedicos.org



**Procedimientos
generales de
Fisioterapia.
Albornoz, M.**



**Procedimientos generales de
Fisioterapia**

Índice de capítulos

COLABORADORES

PRÓLOGO

- **CAPÍTULO 1.** Generalidades sobre agentes físicos y procedimientos generales de intervención en fisioterapia
- **CAPÍTULO 2.** Bases físicas y fisiológicas de los procedimientos de intervención en fisioterapia
- **CAPÍTULO 3.** Termoterapia
- **CAPÍTULO 4.** Crioterapia
- **CAPÍTULO 5.** Hidroterapia e hidrocinésiterapia
- **CAPÍTULO 6.** Balneoterapia, talasoterapia y climatoterapia. Procedimientos fisioterápicos utilizados en balnearios, centros de talasoterapia y *spa*
- **CAPÍTULO 7.** Vibroterapia
- **CAPÍTULO 8.** Presoterapia y depresoterapia
- **CAPÍTULO 9.** Fototerapia
- **CAPÍTULO 10.** Masoterapia
- **CAPÍTULO 11.** El ejercicio físico terapéutico: alteraciones posturales
- **CAPÍTULO 12.** Prescripción del ejercicio físico terapéutico en pacientes cardiovasculares y diabéticos

ÍNDICE ALFABÉTICO

booksmedicos.org

Generalidades sobre agentes físicos y procedimientos generales de intervención en Fisioterapia

Manuel Albornoz Cabello*, **Javier Meroño ****

*Doctor por la Universidad de Sevilla. Profesor del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

**Doctor en Fisioterapia por la Universidad de Sevilla. Profesor del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica San Antonio de Murcia

1

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Introducción 1

Práctica clínica basada en la evidencia científica 2

Agentes físicos empleados en fisioterapia 3

Antecedentes de los agentes físicos empleados en fisioterapia 4

Efectos generales de los agentes físicos empleados en fisioterapia 5

Efecto antiinflamatorio 5

Efecto regenerativo 5

Efecto analgésico 5

Aumento de la movilidad 6

Contraindicaciones y precauciones de los agentes físicos empleados en fisioterapia 6

Embarazo 6

Cáncer 6

Implantes metálicos y dispositivos electrónicos 6

Alteración de la sensibilidad 7

Disfunción mental 7

INTRODUCCIÓN

Este libro nace con la idea de dar respuesta a las nuevas necesidades formativas generadas como consecuencia de la puesta en marcha de los títulos de grado en fisioterapia por parte de todas las universidades españolas (públicas y privadas). La puesta en escena del Espacio Europeo de Educación Superior en España ha provocado una transformación en los modelos de

enseñanza-aprendizaje y, al mismo tiempo, ha favorecido la unificación de las materias adscritas al título de grado en Fisioterapia en los diferentes centros universitarios del territorio nacional.

De esta forma, las asignaturas del anterior plan de estudios de Diplomado en Fisioterapia incluidas en la troncalidad de «Fisioterapia general» han cambiado su denominación para adscribirse a un nuevo módulo formativo reconocido en el *Libro Blanco de Fisioterapia* publicado por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación Universitaria (ANECA) en el año 2004, y ratificado en la Orden CIN/2135/2008, de 3 de julio, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de fisioterapeuta.

En este módulo formativo, la citada orden establece las competencias disciplinarias que deben adquirir los estudiantes mediante el estudio y el desarrollo de las diferentes materias/asignaturas; para el caso del módulo de «Procedimientos generales de intervención en fisioterapia» se detallan las siguientes: «conocer, diseñar y aplicar las distintas modalidades y procedimientos generales de intervención en fisioterapia: masoterapia, electroterapia, magnetoterapia, hidroterapia, balneoterapia, climatoterapia, talasoterapia, termoterapia, crioterapia, vibroterapia, fototerapia, presoterapia, terapias derivadas de otros agentes físicos, así como aspectos fundamentales de la ergoterapia y otras terapias afines al ámbito de competencia de la fisioterapia. Fomentar la participación del usuario y familia en su proceso de recuperación».

Además, entendemos que esta obra servirá de apoyo para el estudio en los diferentes cursos de posgrado y máster de fisioterapia específicos en el ámbito geriátrico, deportivo, etc., que precisen de manuales y guías clínicas que se sirvan del uso de agentes físicos con intención terapéutica. Por ello, el presente libro pretende ser una actualización teórica desde la evidencia clínica y servir de guía práctica de protocolos de actuación en el ámbito de la fisioterapia y otras disciplinas anexas como medicina, odontología, terapia ocupacional, enfermería, podología y educación física, entre otras, que recogen en sus planes de estudio materias relacionadas con medicina física, electroterapia, fisioterapia aplicada a las ciencias de la actividad física y el deporte, cuidados de fisioterapia o podología física.

PRÁCTICA CLÍNICA BASADA EN LA EVIDENCIA CIENTÍFICA

En el ámbito de las ciencias de la salud, el concepto «práctica basada en la evidencia» (PBE) engloba las diferentes disciplinas y especialidades que intervienen en la prestación de cuidados o intervenciones sanitarias. En nuestro caso, la «fisioterapia basada en la evidencia» (FBE) es un enfoque desde la docencia y la práctica clínica, en el que destaca la importancia del uso de evidencias científicas procedentes de la investigación, así como la interpretación cautelosa de la información clínica derivada de las observaciones no sistemáticas. Sackett et al (1996) definen la PBE como «el uso consciente, explícito y sensato de la mejor evidencia actual para tomar decisiones sobre la atención de cada paciente concreto, lo que significa integrar la experiencia clínica individual con la mejor evidencia clínica externa disponible procedente de la investigación sistemática».

Por otro lado, en el ámbito de la fisioterapia, para Herbert et al (2005), «la práctica de la fisioterapia basada en la evidencia debe de estar informada principalmente por la investigación de alta calidad, las preferencias de los pacientes y el conocimiento práctico de los fisioterapeutas». Esto se debe a que la investigación, por sí sola, no toma buenas o malas decisiones, sino que son los profesionales a quienes corresponde decidir y seleccionar para tomar las soluciones más adecuadas. En fisioterapia, como en otras disciplinas de ciencias de la salud, la toma de decisiones clínicas atiende a un proceso complejo que va más allá de la recopilación de resultados de investigaciones clínicas.

De acuerdo con la definición actual de la FBE, existen algunos aspectos adicionales que interactúan con la investigación de calidad, y que tienen que ver con los aspectos culturales de



FIGURA 1.1 Modelo asistencial de los procedimientos generales de intervención en fisioterapia.

la población, las políticas sanitarias y los recursos disponibles, entre otros. Por tanto, son estos aspectos los que determinarán el contexto concreto sobre el que se aplica la decisión final.

Otras definiciones anteriores, como las de Buty y Mead (1998), consideraban la FBE como el empleo de las mejores pruebas disponibles, incluyendo no sólo la investigación de alta calidad, sino también la de baja calidad, las declaraciones de consenso y la experiencia clínica, cuando no exista o no esté disponible la investigación de alta calidad. En esta misma línea, el Centro de FBE de la Universidad de Sydney no niega la base legítima de la fisioterapia donde falta una investigación de alta calidad (CEBP, 2005).

Por otro lado, Watson (2009) nos propone un nuevo modelo asistencial. Si bien lo define para los procedimientos de electroterapia, puede aplicarse fácilmente a todos los procedimientos de fisioterapia. Este autor parte de la concepción clásica en la que la práctica clínica y la toma de decisiones por parte del fisioterapeuta se establecen a partir de la fundamentación teórica. Sin embargo, en la actualidad, esta intervención clínica ha de decidirse teniendo en cuenta al paciente y a su entorno.

Así, el modelo asistencial clásico se iniciaba con la identificación de la transferencia de energía desde una máquina, el propio fisioterapeuta o algún tipo de soporte material físico hacia el paciente. Dicha energía, al pasar al sujeto, provocaba unos cambios fisiológicos y éstos, a su vez, desencadenaban una serie de efectos terapéuticos. En función de este modelo, los fisioterapeutas se centraban en el aprendizaje de los tipos de energía, de sus características físicas, de cómo acceden a los tejidos y, sobre todo, qué tipo de respuesta provocan allí donde llegan. Sin embargo, este modelo asistencial se fundamenta en las concepciones teóricas, desarrolladas en laboratorios y alejadas de la investigación clínica.

Por el contrario, el modelo asistencial actual se centra en el paciente y en su entorno. Así, el proceso es justamente a la inversa; todo se inicia en la identificación de los problemas que sufre el paciente mediante la evaluación y el diagnóstico clínico. Una vez diagnosticado el sujeto se establecen unos objetivos de intervención que se pretenden lograr mediante el cambio de los procesos fisiológicos alterados y, para ello, se emplean los agentes físicos más adecuados. Finalmente, el fisioterapeuta instaura un procedimiento terapéutico con una dosis óptima. Este último paso es el más controvertido en el ámbito de la fisioterapia clínica, pues no están totalmente identificados los parámetros de cada procedimiento terapéutico, que de ben basarse en la evidencia científica y la experiencia clínica del profesional (fig. 1.1).

AGENTES FÍSICOS EMPLEADOS EN FISIOTERAPIA

Los agentes físicos que se usan en fisioterapia pueden analizarse y clasificarse como formas de energía o como tipos de materiales que se aplican a los pacientes para restablecer la funcionalidad o para rehabilitar las alteraciones que éstos presenten.

Así, los agentes físicos empleados en los procedimientos generales de intervención en fisioterapia incluyen el calor, el frío, el agua, la presión, el sonido, etc. Es necesario clasificar los diferentes agentes físicos para que nos sirva de base para una posterior clasificación de los procedimientos generales que se establecen en fisioterapia. Sin embargo, la clasificación de los agentes físicos puede realizarse de diferentes formas según la condición que establezcamos.

TABLA 1.1 Clasificación de los agentes físicos empleados en fisioterapia

Categoría o efectos primarios	Modalidad terapéutica	Efectos secundarios
Térmico	– Agua caliente – <i>Cold-hot pack</i> – Parafina – Infrarrojos – Microondas	- Hiperemia - Sedación - Aumento del trofismo - Regeneración tisular
Mecánico	– Tracción – Masaje – Movilizaciones – Ultrasonido – Vibración – Chorros y duchas	- Estimulación muscular - Efectos reflejos - Efectos psicológicos - Acción circulatoria - Aumento de la movilidad
Químico	– Balneoterapia – Iontoforesis – Parafangos – Ultravioleta	- Acción visceral - Acción metabólica - Tonificación de la piel - Pigmentación de la piel
Electromagnético	– Láser – Corrientes de alta frecuencia – Magnetoterapia	- Mejora de la bioelectricidad - Aumento de los niveles energéticos - Acción antitrombótica - Acción antiinflamatoria

Una de las más extendidas es la que atiende a la acción o a los efectos orgánicos que provoca el agente físico. Seguiremos esta clasificación y describimos, así, cuatro categorías atendiendo a los efectos primarios; es decir, los que producen al introducirse en el organismo: efectos térmicos, mecánicos, químicos y electromagnéticos, aunque estas categorías definidas en función de los efectos primarios pueden crear ciertas confusiones, pues un mismo agente físico puede encontrarse en varias categorías como, por ejemplo, la luz solar (efecto térmico y químico). No obstante, esta clasificación también posee una serie de ventajas porque, al no distinguir entre los agentes físicos que se obtienen directamente de la naturaleza y los que creamos mediante equipos industriales, nos permite ser más operativos (tabla 1.1).

Por otro lado, de esta clasificación es fácil deducir las modalidades terapéuticas y los efectos secundarios, que son los que se producen como consecuencia de los primarios y que repercuten en la fisiología del organismo con una posible proyección terapéutica.

En los sucesivos capítulos de la presente obra iremos describiendo cada uno de los agentes físicos empleados en los procedimientos generales de las intervenciones de fisioterapia, atendiendo ya a las modalidades terapéuticas y no tanto al agente físico en sí.

ANTECEDENTES DE LOS AGENTES FÍSICOS EMPLEADOS EN FISIOTERAPIA

Los agentes físicos utilizados en los diferentes procedimientos generales de las intervenciones de fisioterapia tienen una tradición muy extendida entre los profesionales de la salud. Así, podemos destacar el empleo de procedimientos de termoterapia, balneoterapia o de ejercicios terapéuticos en la Antigüedad. En este momento, son muchos los procedimientos descritos que usan los agentes físicos con fines terapéuticos. Algunos de ellos son similares a los referidos en épocas pasadas, como las saunas o el masaje, y otros son de máxima actualidad, como las plataformas vibratorias, gracias al desarrollo tecnológico y científico que ha desarrollado un amplio abanico de posibilidades terapéuticas para el fisioterapeuta y los profesionales que se acercan a este amplio ámbito del saber.

De todo lo anteriormente expuesto podemos concluir que los agentes físicos son las principales herramientas con las que cuenta el fisioterapeuta para la recuperación y la rehabilitación de los pacientes. Sin embargo, la Asociación Americana de Fisioterapeutas (APTA) declara en 1995 y reitera en 2005: «Si no hay documentación que justifique la necesidad del uso exclusivo de agentes/modalidades físicos, el uso de agentes/modalidades físicos, en ausencia de otras intervenciones educacionales o terapéuticas, no debe ser considerado fisioterapia» (APTA, 2005). De esta definición se desprende que los procedimientos generales de fisioterapia son algo más que la simple aplicación terapéutica de los agentes físicos y que éstos deben emplearse en combinación con otras intervenciones (Cameron, 2009).

Los agentes físicos empleados en fisioterapia deben ser considerados como medicamentos y deben estar sujetos a rigor científico (FBE). Además, se deben evitar las aplicaciones empíricas y no basadas en bases científicamente contrastadas porque pueden ser perjudiciales. Los agentes físicos adquieren sentido como recursos terapéuticos al ser empleados por los fisioterapeutas, profesionales que los eligen y los aplican tras un proceso de búsqueda, reflexión y decisión (*razonamiento clínico*) sobre cuáles son los más recomendables para cada paciente y para su problema de salud.

EFFECTOS GENERALES DE LOS AGENTES FÍSICOS EMPLEADOS EN FISIOTERAPIA

La aplicación de los agentes físicos empleados en fisioterapia produce una serie de efectos fisiológicos que, de forma general, podemos agrupar como los más importantes en varias categorías. A continuación describiremos los principales efectos derivados de la aplicación de los tratamientos con agentes físicos.

EFFECTO ANTIINFLAMATORIO

La inflamación de los tejidos es un proceso fisiológico que presenta diferentes fases. Los agentes físicos influyen de forma muy eficiente en la resolución de cada una de las fases del proceso inflamatorio. Por ello, es necesario conocer cuál es el mejor agente físico que debe emplearse, así como su dosificación correcta, en cada una de las fases.

En la fase inicial, es decir, inmediatamente después de producirse el traumatismo, podemos emplear procedimientos de crioterapia para controlar el sangrado (Weston et al, 1994) y, por ende, está contraindicada la aplicación de procedimientos de termoterapia.

En la inflamación aguda realizamos aplicaciones de hidroterapia mediante baños de contraste para reducir el edema (Fiscus et al, 2005).

En la inflamación crónica efectuamos aplicaciones de procedimientos de termoterapia como la diatermia (Adair et al, 2005) con el fin de mejorar la movilidad y reducir la rigidez articular.

EFFECTO REGENERATIVO

Los agentes físicos producen una aceleración de los procesos reparadores de los tejidos mejorando los procesos cicatriciales mediante agentes mecánicos como los ultrasonidos (Baba-Akbari et al, 2007). En la fase final de toda lesión o fase madurativa, los objetivos terapéuticos se centran en mejorar la funcionalidad del paciente. Es aquí donde se pueden emplear muchos procedimientos fisioterapéuticos, entre los que destacan aquellos que fomentan el trabajo muscular del paciente, como en el caso del empleo de plataformas vibratorias (Roelants et al, 2006).

EFFECTO ANALGÉSICO

Debemos diferenciar entre el dolor agudo y el dolor crónico pues las estrategias que seguimos en cuanto a los procedimientos de fisioterapia empleados son distintas. Por un lado, en el

dolor agudo podemos utilizar procedimientos como la crioterapia porque en muchas ocasiones se asocia con un proceso inflamatorio agudo. Por el contrario, para el tratamiento del dolor crónico podemos emplear procedimientos de balneoterapia por la acción conjunta de agentes térmicos, mecánicos y químicos (Barker et al, 2003).

AUMENTO DE LA MOVILIDAD

Los agentes físicos están muy indicados en aquellos procesos patológicos que cursan con limitación articular o con falta de extensibilidad de algún tejido. Los principales procedimientos son los asociados con la termoterapia por la favorable acción que se produce sobre el colágeno. Uno de los más extendidos es la aplicación de fototerapia mediante infrarrojos (Watson, 2009).

CONTRAINDICACIONES Y PRECAUCIONES DE LOS AGENTES FÍSICOS EMPLEADOS EN FISIOTERAPIA

Las contraindicaciones de la aplicación de los agentes físicos se abordarán en cada uno de los capítulos de la presente obra. Sin embargo, y de forma general, podemos destacar una serie de contraindicaciones o precauciones comunes a todos los agentes físicos empleados en fisioterapia. En múltiples ocasiones las contraindicaciones de la aplicación de un agente físico se limitan a la zona de aplicación o al procedimiento empleado. No obstante, otras veces las precauciones deben respetarse independientemente del procedimiento utilizado, pues dependen más de las características personales del paciente.

Las principales contraindicaciones de las aplicaciones de los agentes físicos en fisioterapia son las siguientes:

EMBARAZO

El embarazo es una contraindicación absoluta ante la aplicación de cualquier agente físico, siempre que afecte al desarrollo normal del feto. En muchas ocasiones se ha planteado que sólo está contraindicada la aplicación sobre el abdomen de la madre embarazada. Esto es un error porque en la mayoría de los procedimientos de fisioterapia con agentes físicos los efectos se producen de forma sistémica y no local. Por el contrario, existen agentes físicos que no afectan al desarrollo del feto y por lo tanto no están contraindicados.

Tiene un especial interés la situación de las fisioterapeutas embarazadas que aplican agentes físicos y si ello puede afectar a su feto. En la actualidad es un tema muy controvertido; por ejemplo, la utilización de corrientes de alta frecuencia no está regulada y en muchos centros de fisioterapia no se aplican mientras exista la posibilidad de que haya una mujer embarazada.

CÁNCER

El empleo de agentes físicos sobre pacientes con una neoplasia ha sido una contraindicación recurrente ante la posibilidad de fomentar su desarrollo y diseminación. Sin embargo, es necesario hacer un buen análisis de la enfermedad y del sujeto, así como del agente físico que se aplica para determinar su idoneidad. Un ejemplo claro es la posibilidad de relajar mediante un masaje o termoterapia a un paciente en una fase muy avanzada de un cáncer. Por el contrario, es necesario extremar la precaución ante pacientes que hayan sufrido cáncer en el pasado y a quienes se les apliquen agentes físicos por la posibilidad de una recidiva o de una metástasis.

IMPLANTES METÁLICOS Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

En general, los dispositivos electrónicos como los marcapasos, entre otros, se ven muy influenciados ante algunos agentes físicos como las corrientes de alta frecuencia. Por lo tanto,

pediremos al paciente que nos indique si porta algún tipo de implante metálico y/o dispositivo electrónico que pueda sufrir una alteración en su funcionamiento ante la aplicación de un agente físico.

ALTERACIÓN DE LA SENSIBILIDAD

La dosificación de los diferentes procedimientos generales de fisioterapia mediante agentes físicos se basa habitualmente en la percepción de los pacientes. Por este motivo, la no colaboración del sujeto o la alteración de su sensibilidad pueden contraindicar el empleo de determinados agentes físicos. Una circunstancia especial en cuanto a la alteración de la sensibilidad de los pacientes la establece la medicación que se les administra y que puede interferir en la correcta dosificación e incluso contraindicar la realización de un tratamiento con determinados agentes físicos (p. ej., la aplicación de fototerapia en pacientes que toman betacarotenos).

DISFUNCIÓN MENTAL

En estados de falta de control mental o enfermedades neurológicas puede estar contraindicado el uso de agentes físicos. Un ejemplo clásico es la epilepsia en el empleo de agentes electromagnéticos. Sin embargo, creemos necesario establecer un buen planteamiento del coste-beneficio de la aplicación del agente físico en cuestión y personalizar cada tratamiento.

Bibliografía

- ANECA. Libro Blanco del Título de Grado en Fisioterapia. Madrid: Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación; 2004.
- Adair ER, Blick DW, Allen SJ, Mylacraine KS, Zirix JM, Scholl DM. Thermophysiological responses of human volunteers to whole body RF exposure at 220 MHz. *Bioelectromagnetics* 2005;26(6):448-61.
- American Physical Therapy Association. Position on exclusive use of physical agents/modalities. Alexandria, VA: House of Delegates Reference Committee, P06-95-29-18; 2005.
- Baba-Akbari Sari A, Flemming K, Cullum NA, Wollina U. Ultrasonido terapéutico para las úlceras de decúbito (Revisión Cochrane traducida). En: La Biblioteca Cochrane Plus, 2007; 4. Oxford: Update Software Ltd. Disponible en: <http://www.update-software.com>. (Traducida de The Cochrane Library, 2007. Issue 4. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.; 2007).
- Barker KL, Dawes H, Hansford P, Shamley D. Perceived and measured levels of exertion of patients with chronic back pain exercising in a hydrotherapy pool. *Arch Phys Med Reh* 2003;84(9):1319-23.
- BOE número 174 de 19/7/2008. Orden CIN/2135/2008, de 3 de julio, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Fisioterapeuta.
- Buty TJ, Mead JM. Evidence-based healthcare: A practical guide for therapist. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1998.
- Cameron MH. Agentes físicos en rehabilitación. De la investigación a la práctica (3.ª ed.). Barcelona: Elsevier; 2009. p. 1-17.
- CEBP. Center Evidence-based Physiotherapy Tutorial: Reading clinical trials in physiotherapy. Tutorial: Reading clinical trials in physiotherapy. Retrieved 21/08, 2005, from http://www.pedro.fhs.usyd.edu.au/CEBP/index_cebp.html.
- Fiscus KA, Kaminski TW, Powers ME. Changes in lower-leg blood flow during warm-, cold-, and contrast-water therapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86(7):1404-10.
- Herbert RD, Jamtvedt G, Mead J, Birger K. Practical evidence-based physiotherapy. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2005.
- Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, Levin O, Stijnen V. Whole-body vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res* 2006;20:124-9.
- Sackett DL, Rosenberg WM, Gray JA, Haynes RB, Richardson WS. Evidence-based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ* 1996;312(7023):71-2.
- Watson T. Electroterapia. Práctica basada en la evidencia (11.ª ed.). Barcelona: Elsevier; 2009.
- Weston M, Taber C, Casagrande L, Cornwall M. Changes in local blood volume during cold gel pack application to traumatized ankles. *J Orthop Sports Phys Ther* 1994;19(4):197-9.

Bases físicas y fisiológicas de los procedimientos de intervención en fisioterapia

José Ríos-Díaz*, Jacinto J. Martínez-Payá**

*Doctor en Ciencias Biomédicas. Licenciado en Biología. Diplomado en Fisioterapia. Profesor del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica San Antonio de Murcia

**Doctor en Fisioterapia. Licenciado en Fisiatría y Kinesiología. Diplomado en Fisioterapia. Profesor del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica San Antonio de Murcia

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Introducción 9

Bases fisiológicas de la respuesta neuromuscular 10

- Estructura y función del tejido nervioso 10
- Potencial de membrana en reposo 12
- Potenciales de acción 14
- Conducción de los potenciales de acción 17
- Estructura y función del tejido muscular 17
- Inicio de la contracción muscular: potencial postsináptico excitatorio 19
- Mecanismo de la contracción del músculo esquelético 21
- Fibras de contracción lenta y fibras de contracción rápida 23
- Tipos de contracción muscular y fuerza de la contracción 25

- Fatiga, adaptación al entrenamiento, daño y reparación muscular 26
- Control nervioso de los músculos esqueléticos 29

Bases fisiológicas de la respuesta inflamatoria 33

- Respuesta inflamatoria y fagocitosis 35
- Liberación de proteínas de fase aguda 36
- Fase de reparación de la lesión 38

Bases fisiológicas del dolor 41

- Estimulación de los nociceptores 41
- Dolor y daño tisular 42
- Doble vía nerviosa de transmisión de las señales dolorosas 43
- Modulación del dolor y sistemas de supresión del dolor en la médula espinal y el cerebro 44
- Dolor referido y dolor visceral 46

9

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describirán los elementos esenciales de la fisiología de los tres grandes procesos en torno a los cuales se articulan la mayoría de las intervenciones en fisioterapia: la respuesta neuromuscular, la respuesta inflamatoria y el dolor. El capítulo no pretende ser una revisión exhaustiva, pero sí ofrecer al lector una visión general para comprender los elementos fundamentales de estos tres complejos procesos.

BASES FISIOLÓGICAS DE LA RESPUESTA NEUROMUSCULAR

En las dos últimas décadas los conocimientos sobre los mecanismos fisiológicos neuromusculares han aumentado sobremedida y, con ellos, la importancia que se les concede desde el punto de vista de la intervención terapéutica. En este apartado se revisarán los fundamentos de la generación y propagación del impulso nervioso, el mecanismo de contracción muscular y el control nervioso del movimiento.

ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DEL TEJIDO NERVIOSO

El sistema nervioso está formado por *neuronas*, que producen y conducen impulsos electroquímicos, y células de sostén (*neuroglía*) (tabla 2.1), con funciones de apoyo, tróficas y de protección de las neuronas (Purves et al, 2011). Tradicionalmente, en el estudio del sistema nervioso han tenido un papel protagonista las neuronas y se ha considerado que las células de la glía tenían un papel secundario. En los últimos años, gran parte de la investigación en neurociencia ha centrado su atención en estas células y parece que están implicadas en muchas de las

TABLA 2.1 Tipos y funciones de las células de la neuroglía

Tipo celular	Sistema nervioso	Morfología	Función
Astroцитos	Central	Estrelladas con prolongaciones largas y numerosas	Gran número de microfilamentos que les confieren resistencia; las prolongaciones envuelven a los capilares sanguíneos y colaboran en el establecimiento de la barrera hematoencefálica. Mantienen el medio interno y participan en la formación de nuevas sinapsis
Oligodendrocitos	Central	Similares a los astroцитos, con menor tamaño y menor número de prolongaciones	Formación y mantenimiento de la vaina de mielina de los axones. Varios oligodendrocitos pueden formar la vaina de varios axones
Microglía	Central	Pequeñas con escasas prolongaciones	Función fagocítica, eliminan sustancias de desecho, microorganismos y los restos de tejido dañado
Células ependimarias	Central	Forma cuboide o cilíndrica	Son células de revestimiento monocapa con microvellosidades y cilios ubicadas en los ventrículos cerebrales y el conducto central de la médula espinal. Monitorizan y contribuyen a la circulación del líquido cefalorraquídeo y participan en la barrera hematoencefálica
Células de Schwann	Periférico	Cilíndricas que se disponen rodeando a los axones	Forman las vainas de mielina de los axones del sistema nervioso periférico. También rodean a los axones no mielinizados. Participan en la regeneración axónica
Células satélite o gliocitos ganglionares	Periférico	Aplanadas y rodean a los somas neuronales	Rodean y sostienen los somas celulares ubicados en los ganglios del sistema nervioso periférico. Regulan el intercambio de sustancias entre las neuronas y el espacio intersticial

Modificado de Tortora y Derrickson (2006).

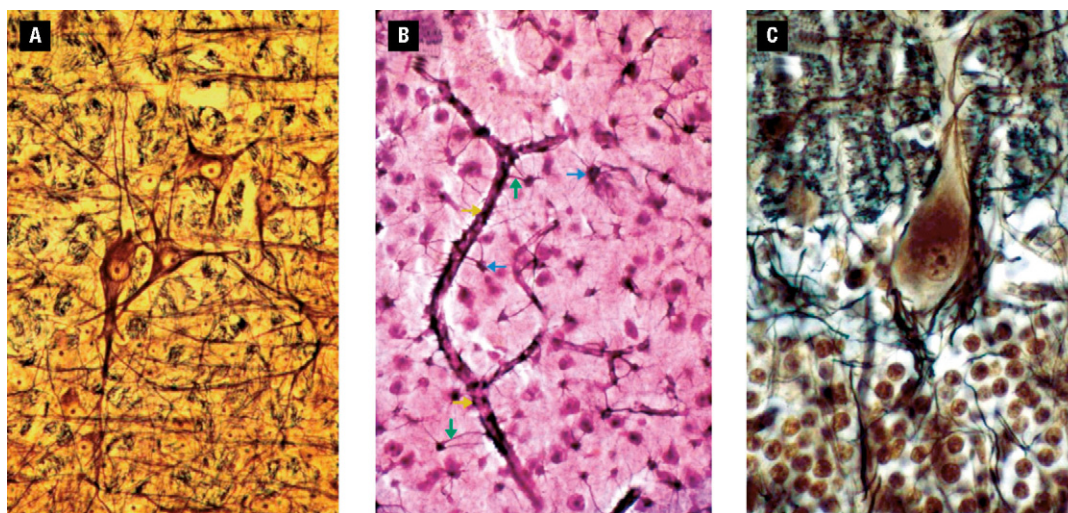


FIGURA 2.1 Microscopia óptica de células nerviosas.

patologías y disfunciones relacionadas con el sistema nervioso. Se estima que por cada neurona existen entre 5 y 50 células gliales.

El término neurona debe reservarse para denominar a las células del sistema nervioso con la capacidad de generar y transmitir impulsos eléctricos. Existe una gran variedad morfológica pero, en general, todas se caracterizan por poseer tres regiones: cuerpo celular, dendritas y axón. Tanto las dendritas como los axones son las prolongaciones del cuerpo celular (fig. 2.1, v. Presentación contenido online).

Los **cuerpos celulares** poseen la maquinaria celular general de cualquier célula, con la característica de tener un retículo endoplásmico rugoso que se tiñe fuertemente y que en la histología clásica se denomina *cuerpos de Nissl*, no presentes ni en las dendritas ni en los axones. La distribución de los somas celulares de las neuronas se suele agrupar en los *ganglios* del sistema nervioso periférico o en los *núcleos* del sistema nervioso central (Junqueira y Carneiro, 2006; Ross et al, 2011).

Las **dendritas** son prolongaciones finas y ramificadas que parten del soma neuronal y constituyen las regiones de *recepción* de impulsos eléctricos provenientes de otras neuronas. El **axón** es una prolongación más larga que conduce los impulsos desde el *cono axónico* del soma celular (fig. 2.2, v. Presentación contenido online). La longitud de los axones puede variar desde unos pocos milímetros hasta más de un metro (piénsese, por ejemplo, en el axón de una motoneurona situada en el asta anterior de la médula en el nivel lumbar L4-L5 que inerva las fibras del músculo tibial anterior).

A lo largo del axón se transportan proteínas y otras moléculas por dos mecanismos distintos, y más rápidos, que una simple difusión (Goldstein y Yang, 2000):

1. El **flujo axoplásmico**, ligeramente más lento, es el resultado de ondas rítmicas de contracción en las que están implicados filamentos del citoesqueleto que empujan al citoplasma a partir del cono axónico hacia las terminaciones nerviosas.
2. El **transporte axonal**, en el que participan los microtúbulos, es más rápido y selectivo. Dependiendo de la dirección de este transporte, hablaremos de *transporte anterógrado* cuando el movimiento de moléculas se produce desde el soma neuronal hacia las terminaciones (dendritas o axones) y está controlado por *cinesinas*, que son complejos proteicos relacionados con los microtúbulos y que se *anclan* a las moléculas que deben ser transportadas. Cuando el transporte se produce desde las terminaciones nerviosas (dendritas o axones) hacia el soma, se denomina *transporte retrógrado* en el que están implicadas las *dineínas* responsables del movimiento de membranas celulares, vesículas mediante microtúbulos (Matthews, 2003; Connolly, 2004; Lodish et al, 2005; Alberts et al, 2008; Hammond, 2008).

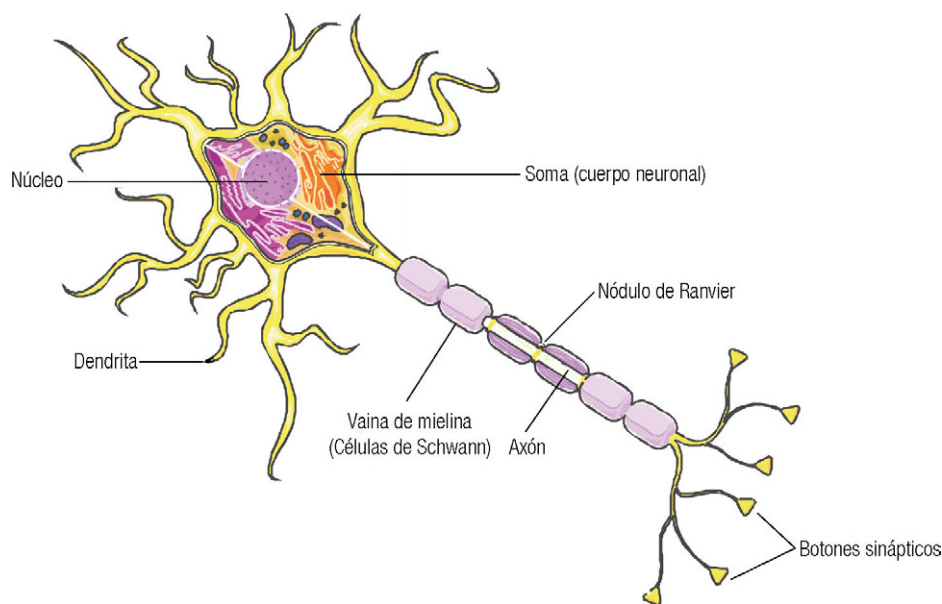


FIGURA 2.2 Esquema de una neurona típica.

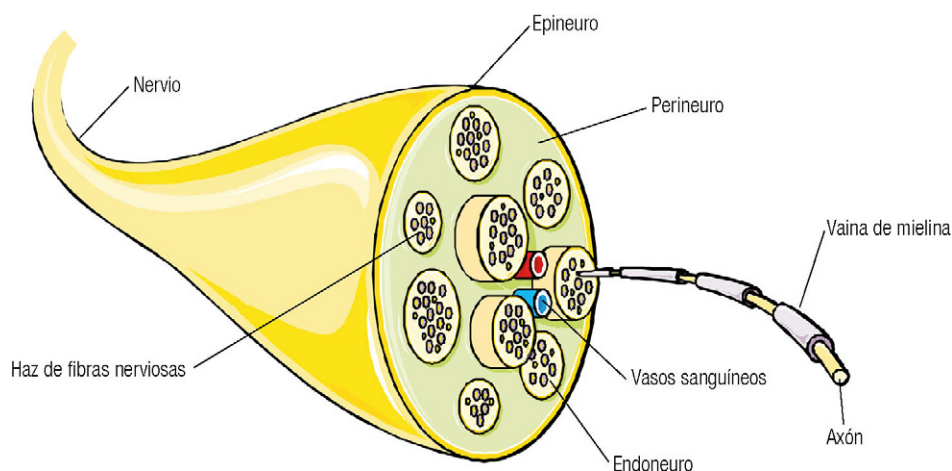


FIGURA 2.3 Organización jerárquica de los nervios.

Los axones y dendritas se agrupan y organizan en estructuras macroscópicas que denominamos **nervios** formados por fibras sensitivas, fibras motoras o de ambos tipos (Said, 1989; Antoine, 1999). En conjunto, el nervio está rodeado por una envuelta de tejido conectivo denominada *epineuro*. Cada grupo de axones se encuentra, a su vez, recubierto por otra capa de tejido conectivo denominada *perineuro* y, finalmente, cada axón, ya sea mielínico o amielínico, posee otro envoltorio que recibe el nombre de *endoneuro* (fig. 2.3, v. Presentación contenido online).

POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPOSO

Una de las propiedades funcionales que definen a las neuronas es su capacidad para generar y transmitir impulsos eléctricos o potenciales de acción. Para comprender cómo se establecen es necesario recordar que en las neuronas, como en **todas** las células del organismo, se establece una diferencia de potencial eléctrico a un lado y otro de la membrana plasmática. El mantenimiento de este gradiente electroquímico es necesario para la supervivencia de la célula. Esta diferencia de potencial se denomina *potencial de membrana*, en sentido amplio, o *potencial de membrana en reposo* (PMR), cuando nos referimos a las células excitables. Podemos imaginarnos esta membrana con su potencial como una pila eléctrica cuya energía será utilizada para

realizar una gran cantidad de procesos celulares vitales. Esa pila deberá ser recargada de forma continua y para ello la célula necesitará de un aporte energético, el adenosín trifosfato (ATP) que en última instancia se obtiene de las fuentes nutritivas (Fox, 2008).

En las neuronas, en términos generales, el PMR es de unos -70 mV (aunque puede oscilar entre los -40 y los -90 mV según el tipo de neurona): el signo negativo, por convención, indica que en las proximidades citoplasmáticas de la membrana predominan las cargas eléctricas negativas, mientras que en las proximidades extracelulares de la membrana predominan las positivas. Cuando una célula mantiene una diferencia de potencial de membrana se dice que está *polarizada* y cuando pierde o se invierte esa diferencia de potencial se dice que se ha *despolarizado* (Constanzo, 2011).

El origen del PMR radica en la distribución desigual de distintos iones a un lado y otro de la membrana (Tortora y Derrickson, 2006; Guyton y Hall, 2011). En el líquido extracelular posee una mayor concentración de iones de Na^+ y de Cl^- , mientras que en el citosol, el catión principal es el K^+ y los dos aniones predominantes son grupos fosfato (PO_4^{3-}) y los extremos N-terminales de los aminoácidos de las proteínas (tabla 2.2). Son tres los mecanismos por los cuales la célula mantiene su potencial de membrana en reposo:

1. **Permeabilidad de la membrana al K^+ y al Na^+ .** El potasio, dada su mayor concentración en el interior que en el exterior celular, tenderá a difundir de forma pasiva hacia el exterior celular por sus canales iónicos presentes en la membrana plasmática. La existencia de un gran número de canales iónicos de K^+ en la membrana hace que la permeabilidad de ésta al ión sea elevada (Norman, 2007). El resultado será una mayor *negativización relativa* del interior de la membrana y una *positivización relativa* del exterior de ésta. Sin embargo, con el Na^+ la situación es diferente: la membrana es mucho menos permeable al ión sodio que al potasio porque no existen canales para el sodio permanentemente abiertos. Puesto que existe una mayor concentración de iones sodio en el exterior celular que en el citosol, se producirá una entrada pasiva, aunque lenta, de iones sodio al interior celular a través de los canales de sodio regulados por voltaje que, aun estando cerrados, en una situación de reposo pueden abrirse ligeramente (véase más adelante).
2. **Presencia de cargas negativas atrapadas.** La mayor parte de las cargas negativas presentes en las inmediaciones de la cara citosólica de la membrana no pueden cruzar hacia el exterior: o bien porque son cargas negativas asociadas con moléculas que no pueden atravesar la membrana (grupos fosfato) o bien porque están asociadas a proteínas. En definitiva, las cargas negativas no *pueden seguir* al potasio en su salida al exterior. Sin embargo, serán las responsables de que, en parte, el potasio vuelva a fluir hacia dentro por sus correspondientes canales iónicos. El flujo de potasio se encuentra regulado por dos gradientes antagónicos:

TABLA 2.2 Concentraciones iónicas de los líquidos intracelular y extracelular

Iones	Intracelular (mM)	EXTRACELULAR (mM)	E_{ion}
Na^+	12	145	+60 mV
K^+	150	5	-90 mV
Ca^{2+}	$1 \cdot 10^{-4}$	2,5	+150 mV
Cl^-	9	125	-70 mV
HCO_3^-	10	28	-
PO_4^{3-}	75	4	-
Proteínas	40	5	-

mM: molaridad en milimoles que representa la cantidad de soluto por unidad de volumen; E_{ion} : potencial de equilibrio para cada ión calculado a partir de la ecuación de Nernst.

Adaptado y modificado de Córdova, Guyton, Constanzo y Ganong (Constanzo, 2011; Córdova, 2003; Ganong, 2005; Guyton y Hall, 2011).

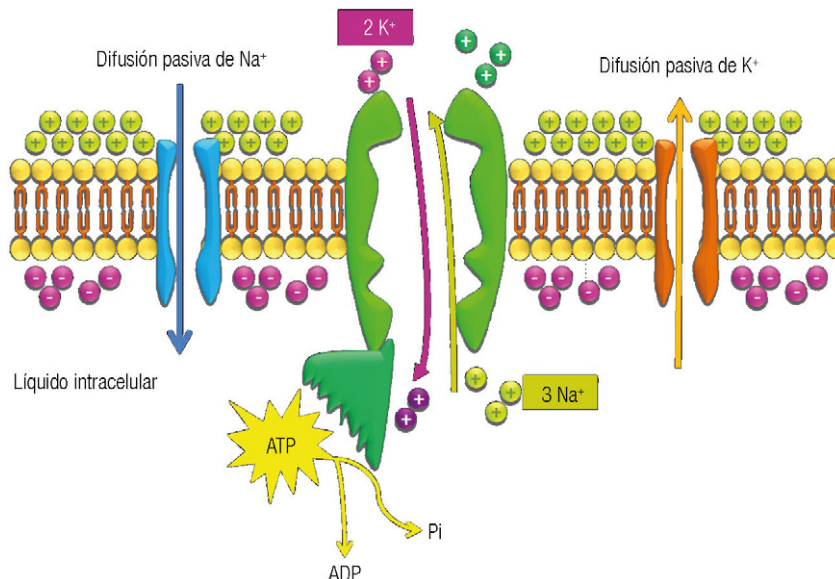


FIGURA 2.4 Funcionamiento de la bomba Na^+/K^+ .

el gradiente de concentración empuja al potasio hacia el exterior y el gradiente eléctrico lo atrae hacia el interior.

3. **Bombas de Na^+/K^+ .** Si no existiese un mecanismo que compensase la salida del potasio, controlado por la atracción ejercida por los aniones intracelulares y la entrada de sodio, el potencial de membrana desaparecería cuando se alcanzasen los equilibrios electroquímicos. Sin embargo, en las membranas plasmáticas existe un complejo proteico (Benarroch, 2011; Morth et al, 2011) con actividad ATP-asa (es un transportador activo que requiere de ATP): la *bomba de sodio-potasio*.

Como estas bombas expulsan tres iones de sodio e introducen dos iones de potasio, tienen un efecto *electrogénico*, ya que el resultado neto de cargas eléctricas significa negativizar el interior de la membrana respecto del exterior (fig. 2.4, v. Presentación contenido online). Aunque en términos absolutos la contribución de las bombas de sodio-potasio equivale solamente a unos -3 mV de los -70 mV del potencial de reposo, sin su continuo funcionamiento las membranas perderían progresivamente el PMR, con resultados nefastos para la célula.

POTENCIALES DE ACCIÓN

Un potencial de acción o *impulso nervioso* puede definirse como una inversión momentánea del potencial de membrana en reposo de una célula excitable neuronal o muscular (fig. 2.5, v. Presentación contenido online). En el proceso pueden reconocerse tres fases:

1. *Despolarización*: se reduce e incluso se invierte la diferencia de potencial de reposo.
2. *Repolarización*: se recupera el potencial de membrana en reposo.
3. *Hiperpolarización*: la membrana alcanza una diferencia de potencial negativa mayor que en la situación de reposo.

La generación del potencial de acción está relacionada con la presencia en las membranas plasmáticas de un tipo especial de canal iónico: *canales iónicos regulados por voltaje*. Son complejos proteicos formados por varias subunidades y específicos para cada tipo de ión, que pueden presentar dos estados conformacionales: abierto o cerrado. Que el poro del canal permanezca abierto y permita el flujo del correspondiente ión según su *gradiente electroquímico* o que permanezca cerrado e impida el paso del ión, depende de la situación eléctrica de su entorno (fig. 2.6, v. Presentación contenido online).

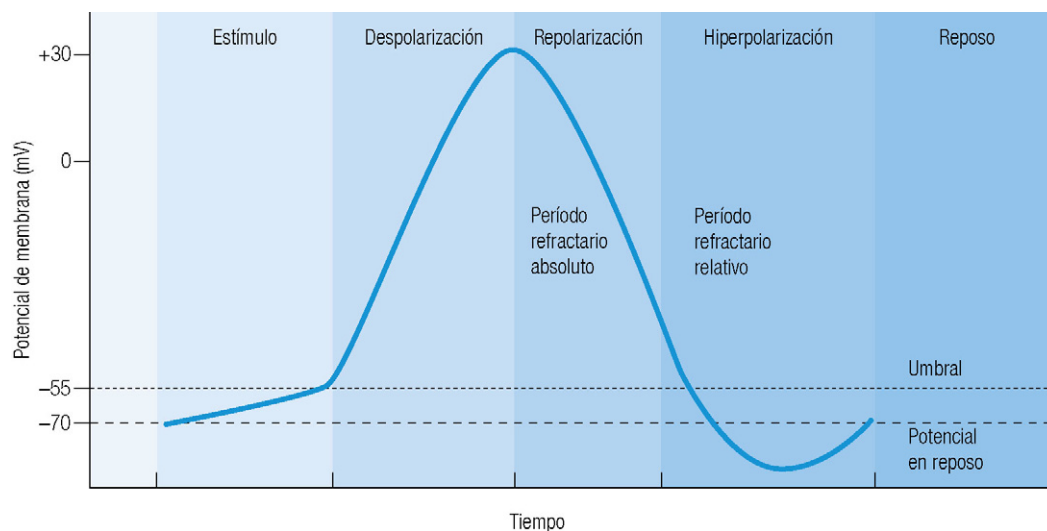


FIGURA 2.5 Fases del potencial de acción.

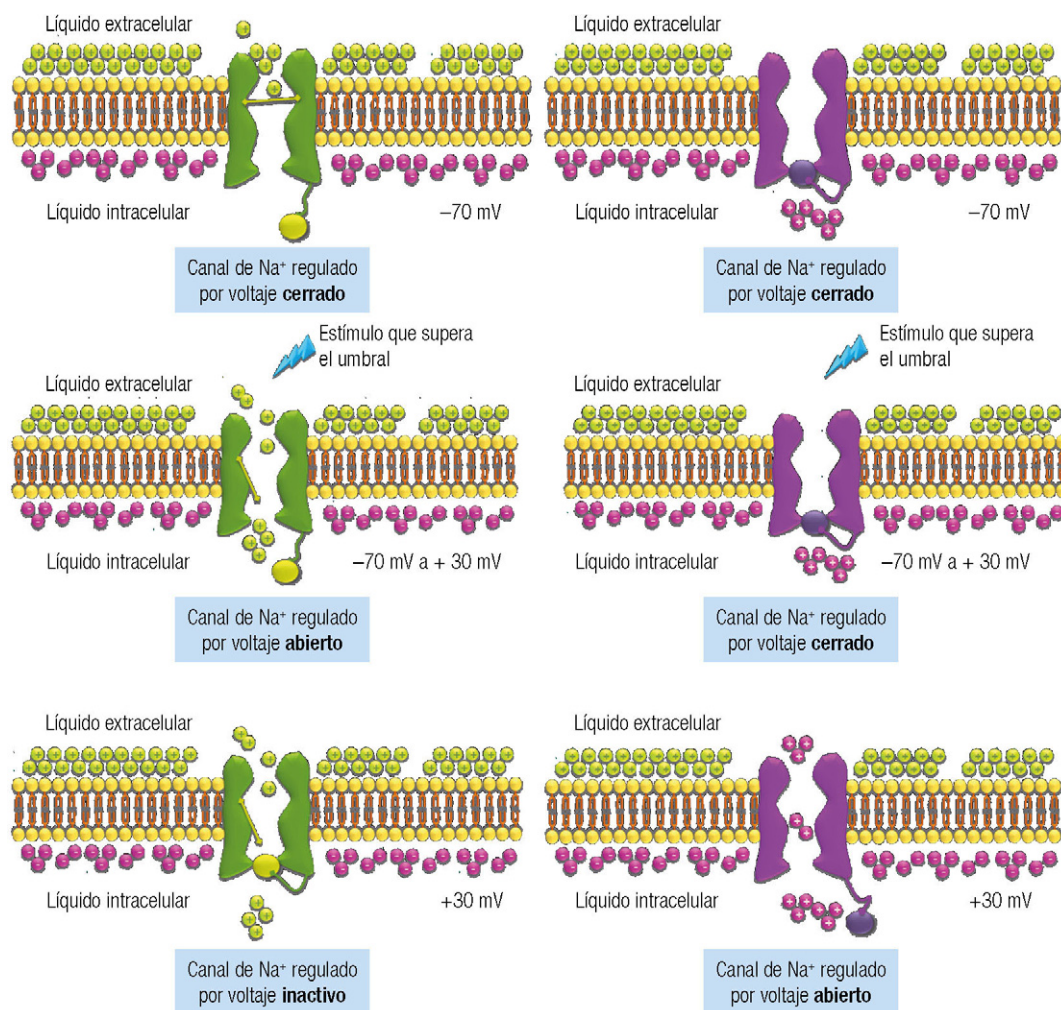


FIGURA 2.6 Flujo de iones Na^+ y K^+ .

Los canales de K^+ regulados por voltaje se encuentran cerrados cuando el potencial de membrana se encuentra en los valores de reposo. Paralelamente, los canales de K^+ de los que hemos hablado anteriormente no regulados por voltaje siempre estarían abiertos y por eso se les llama canales de K^+ de pérdida (Stuhmer et al, 1989; Konishi, 1990; Mahaut-Smith et al, 1990).

Los canales de Na^+ regulados por voltaje también se encuentran cerrados cuando el potencial de membrana está en los valores de reposo. Solamente existen canales de sodio regulados por compuerta, y las pequeñas entradas de Na^+ que se producen en una situación de reposo se deben a una apertura momentánea y parcial de los mismos (Norman, 2007; Fox, 2008).

Cuando en una determinada región de la membrana se produce un estímulo eléctrico lo suficientemente intenso, la mayor parte de los canales de Na^+ regulados por voltaje se abrirán de forma simultánea. Esta apertura será breve pero permitirá una difusión de Na^+ hacia el interior que *positivizará* el interior de la membrana (en una neurona típica se pasará de -70 mV a unos $+30$ mV). En este punto, los canales Na^+ cerrarán sus compuertas y cesará el flujo de sodio hacia el interior y a la vez servirá de estímulo para que los canales de K^+ regulados por voltaje abran simultáneamente su poro. Se producirá entonces un aumento brusco de la permeabilidad al potasio con una salida masiva del ión hacia el exterior. Se recuperará así el PMR que volverá a hacerse negativo, *repolarización*, e incluso lo sobrepasará, *hiperpolarización*. Llegados a este punto, los canales de K^+ cierran sus compuertas y será la bomba Na^+/K^+ la que restaurará los niveles de reposo. En una neurona típica se pueden contabilizar alrededor de un millón de bombas capaces de transportar $200 \cdot 10^6$ iones por segundo (Fox, 2008).

Se dice que los potenciales de acción responden a la *ley del todo o nada*, lo que significa que cuando un determinado estímulo eléctrico dispara la apertura de los canales de sodio, éstos no se cerrarán hasta que alcancen el umbral de despolarización ($+30$ mV). El paso de -70 mV a $+30$ mV y vuelta a los -70 mV dura aproximadamente 3 ms. La amplitud de los potenciales de acción en todos los axones y en todos los momentos será siempre de aproximadamente 100 mV (Ganong, 2005; Guyton y Hall, 2011).

Puesto que los potenciales de acción ocurren o no ocurren, el sistema nervioso no puede regular la fuerza de los estímulos con la amplitud de los potenciales de acción, debe hacerlo con la *frecuencia* (número de potenciales/unidad de tiempo) de producción de potenciales. La neurona que recibe un estímulo más fuerte responderá con un mayor número de potenciales o mantendrá una *mayor tasa de descargas eléctricas* (sumación temporal).

Por otra parte, no todos los axones poseen el mismo *umbral* para despolarizarse; algunos responderán frente a pequeños estímulos, mientras que otros lo harán frente a estímulos más intensos: los potenciales de membrana serán siempre iguales, lo que cambiará será la *facilidad para soltar el gatillo* que tiene una u otra neurona. De esta forma, cuando un estímulo actúa sobre un grupo de axones, algunos se activarán (los que tengan el umbral más bajo) y otros no lo harán; si el estímulo aumenta en intensidad, crecerá también el número de axones activados. Este mecanismo se conoce como *reclutamiento* (sumación espacial) y constituye otro mecanismo que permite al sistema nervioso codificar la fuerza del estímulo (Berne y Levy, 1992; Becker et al, 2007).

El número de descargas de una determinada neurona por unidad de tiempo (frecuencia de descarga) es limitado: si aumentamos el número de impulsos, el intervalo entre ellos disminuye hasta el punto en el que no podrá generarse un nuevo potencial hasta que el anterior haya finalizado. Durante el tiempo en el que una determinada región de la membrana de la neurona está produciendo un potencial de acción no puede generarse *en esa misma zona* otro potencial hasta que el anterior haya finalizado. Este lapso de tiempo se conoce como **período refractario** (fig. 2.5). Cuando no se produce ninguna respuesta a la aplicación de un segundo estímulo se habla de **período refractario absoluto**. La explicación a este fenómeno debe buscarse en la estructura molecular de los canales regulados por voltaje (fig. 2.6): cuando la despolarización abre el canal, se produce el flujo del correspondiente ión hasta que el canal pasa a un estado *inactivo* debido a que una subunidad peptídica del mismo bloquea el poro (Benarroch, 2011; Morth et al, 2011). Ningún nuevo estímulo podrá desbloquearlo y la inactivación finaliza tras un período fijo de tiempo tras el cual el canal vuelve a encontrarse en una situación de *cerrado pero desbloqueado* (Tortora y Derrickson, 2006; Silverthorn, 2008).

Ocurre que, cuando los canales de Na^+ están inactivados por haberse producido la despolarización, no todos lo están al mismo tiempo, por lo que teóricamente es posible volver a producir una nueva despolarización de la membrana. En esta situación el estímulo deberá ser de una intensidad mayor que si la membrana estuviese en reposo, porque los canales de K^+ se encuentran abiertos y se está repolarizando la membrana. Este intervalo de recuperación del reposo de los canales de Na^+ desde su estado inactivo con los canales de K^+ aún abiertos se denomina **período refractario relativo** (Córdova, 2003; Constanzo, 2011).

En muchas de las corrientes eléctricas aplicadas con fines terapéuticos se ajustan tres parámetros: la intensidad de la corriente, la frecuencia de los impulsos eléctricos y la duración de los impulsos eléctricos con el objetivo de dirigir el estímulo eléctrico hacia las condiciones fisiológicas de las células nerviosas o musculares que se desea estimular.

CONDUCCIÓN DE LOS POTENCIALES DE ACCIÓN

Si la transmisión de los impulsos eléctricos dependiese únicamente de las propiedades conductoras de la membrana, sólo podrían propagarse unos milímetros. En consecuencia, debe existir algún otro mecanismo por el que los impulsos eléctricos pueden transmitirse a distancia a lo largo de los axones.

Cuando se estimula una determinada región del axón y se supera el umbral de despolarización, ésta ocurre en una pequeña región de la membrana. Durante la despolarización entran *chorros* de iones Na^+ que despolarizarán, a su vez, una zona de la membrana adyacente. En la membrana de un axón, esta despolarización sólo podrá *avanzar*, ya que las zonas de la membrana que se acaban de despolarizar no pueden volver a hacerlo por encontrarse en sus períodos refractarios. Conviene señalar que los potenciales de acción no se conducen, sino que cada potencial de acción es un suceso completo e independiente que se repite a lo largo de toda la longitud del axón. Se puede pensar en la *ola* que realizan los espectadores en un estadio: los individuos se levantan progresivamente (despolarización) y luego se sientan (repolarización), pero no se mueven de su sitio (Fox, 2008). Éste sería el mecanismo por el que se conduciría el potencial de acción en un **axón amielínico**. La velocidad dependerá de la resistencia de la membrana al flujo de cargas: a mayor diámetro de la fibra nerviosa, mayor velocidad de conducción.

La propagación del impulso por los **axones mielinizados** es más rápida y eficiente porque la vaina de mielina evita los movimientos de Na^+ y K^+ a través de la membrana. Estos movimientos sólo son posibles en los *nódulos de Ranvier* que se corresponden con interrupciones de la vaina de mielina. Es en estas regiones donde se concentrarán los canales de Na^+ y K^+ regulados por voltaje. Como la despolarización sólo puede producirse en estas regiones, se dice que la conducción del impulso es *saltatoria*. La velocidad de conducción será mayor en los axones mielinizados porque la despolarización no se efectúa a lo largo de *toda* la membrana, sino solamente en las zonas de los nódulos que, no obstante, no pueden estar muy alejados entre sí (aproximadamente cada 1-2 mm). En la tabla 2.3 pueden comprobarse las diferentes velocidades de las fibras nerviosas según su grado de mielinización.

ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DEL TEJIDO MUSCULAR

Desde un punto de vista funcional, el tejido muscular, en sentido general, es el encargado de producir movimiento en el organismo. En cualquier proceso fisiológico en el que pueda observarse movimiento estará implicado de una u otra forma el tejido muscular: desde el movimiento de las palancas óseas, la circulación de la sangre por los vasos sanguíneos o del aire al interior de los pulmones hasta el avance del contenido digestivo a lo largo del sistema digestivo.

Aunque la acción del tejido muscular que denominamos *contracción* es común a todos los tipos de tejido muscular, existen características diferenciadoras que nos permiten distinguir tanto estructural como funcionalmente tres tipos de tejido muscular: el *esquelético*, el *cardíaco* y el *liso* (fig. 2.7, v. Presentación contenido online).

TABLA 2.3 Velocidades de conducción de los axones

Diámetro (mm)	Velocidad de conducción (m/s)	Funciones
12-22	70-120	Sensitiva: posición de los músculos
5-13	30-90	Fibras motoras somáticas
3-8	15-40	Sensitiva: tacto, presión
1-5	12-30	Sensitiva: dolor, temperatura
1-3	3-15	Fibras autónomas hacia los ganglios
0,3-1,3	0,7-2,2	Fibras autónomas hacia el músculo liso y cardíaco

Tomado de Fox (2008).

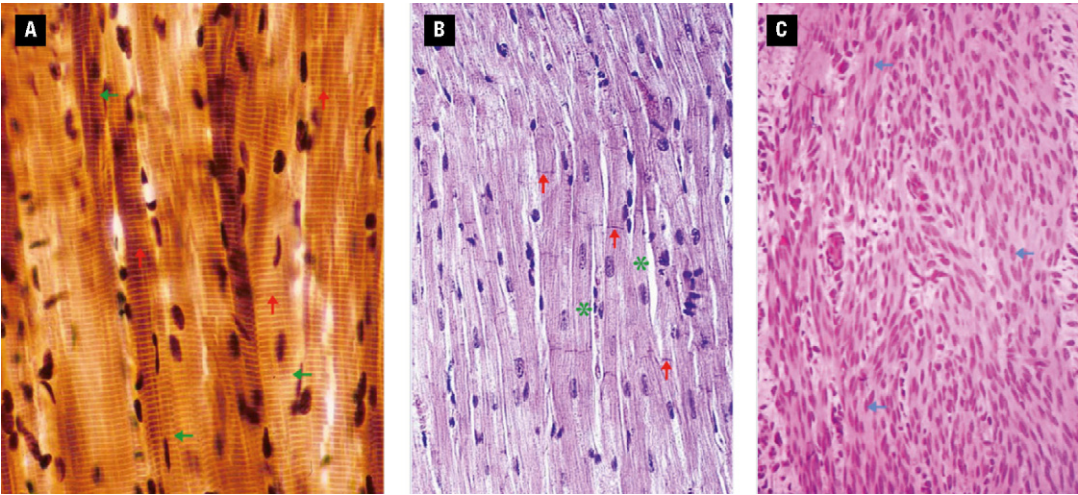


FIGURA 2.7 Microscopia óptica de tejido muscular.

Tanto el músculo esquelético como el músculo cardíaco muestran mecanismos similares de contracción, y su aspecto, cuando se observan con el microscopio óptico, es similar y característico por presentar *estriaciones*. Sin embargo, el músculo liso posee una estructura microscópica diferente y, en consecuencia, su mecanismo de contracción también lo es. El músculo esquelético es de contracción voluntaria y los músculos cardíaco y liso son de contracción involuntaria (Córdova, 2003; Constanzo, 2011). En adelante nos referiremos sólo al músculo estriado esquelético.

El músculo esquelético se encuentra organizado jerárquicamente (Gartner y Hiatt, 2002; Junqueira y Carneiro, 2006; Ross et al, 2011). Si partimos desde un nivel macroscópico (fig. 2.8, v. Presentación contenido online), encontraremos que el músculo se inserta mediante su tendón en una palanca ósea y está rodeado por una capa de tejido conjuntivo, denominada *fascia*, que lo envuelve y lo empaqueta junto con otros grupos musculares y estructuras. Bajo esta fascia, y en íntimo contacto con el tejido muscular propiamente dicho, se encuentra otro envoltorio de tejido conjuntivo denominado *epimisio*. A su vez, dentro del envoltorio epimisial, el músculo se encuentra ordenado en paquetes denominados *fascículos musculares* que poseen un envoltorio propio de tejido conjuntivo denominado *perimisio* y que forma un continuo con el epimisio mediante tabiques transversales de tejido conjuntivo que separan los diferentes fascículos. Si observamos con mayor detalle un fascículo, veremos que el perimisio empaqueta un conjunto de filamentos que reciben el nombre de *fibras musculares* o *miofibras* cubiertas por una fina capa de tejido conjuntivo, el *endomisio*, que ya se encuentra en íntimo contacto funcional con la membrana plasmática (o *sarcolema*) de la célula muscular. Es preciso evitar equivocaciones con la

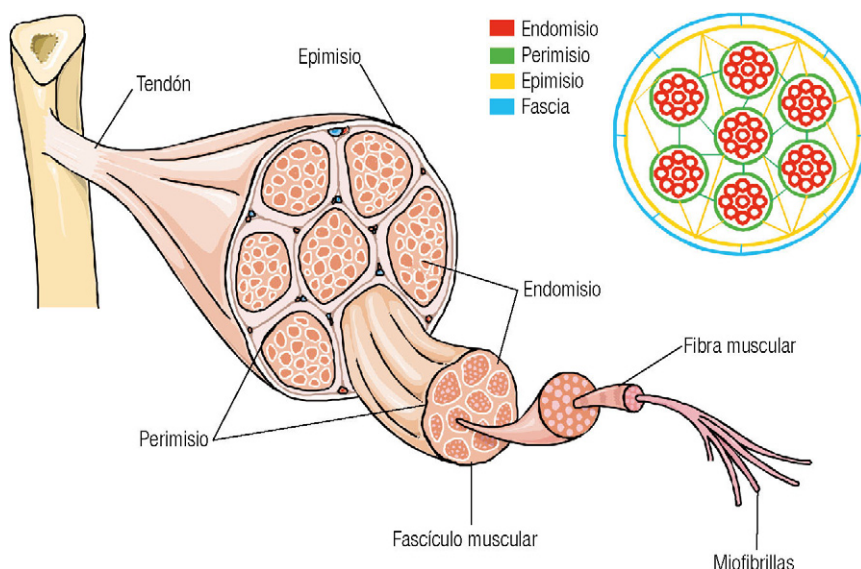


FIGURA 2.8 Organización jerárquica del músculo.

terminología: fibra muscular y miofibrilla se refieren a la célula muscular; en cambio, *miofibrilla* hace referencia a cada una de las proteínas fibrosas dispuestas longitudinalmente contenidas en la fibra muscular, en esencia, se corresponderían con filamentos de actina y miosina. Los vasos sanguíneos y las terminaciones nerviosas transcurren entre estos envoltorios hasta contactar con la membrana de la fibra muscular (Pocock y Richards, 2005; Fox, 2008; Silverthorn, 2008).

Por tanto, la tensión generada por las fibras musculares se transmitirá a los tendones por un sistema continuo de tejido conjuntivo y, dada la disposición espacial del conjunto, se traducirá, si uno de los segmentos se encuentra libre, en un acercamiento de los puntos de inserción.

Durante décadas se ha estudiado la función muscular centrada en la propia fibra muscular obviando en la mayoría de las ocasiones el papel de los envoltorios de tejido conjuntivo. Si bien en el ámbito de la biología celular y molecular, el estudio de la composición de la matriz extracelular –el *medio interno* de Walter Cannon y Claude Bernard– de los diferentes tejidos y las complejas interacciones entre sus componentes y la maquinaria celular son una línea de investigación inagotable (Kjaer, 2004; Lodish et al, 2005; Silverthorn, 2008; Geiger et al, 2011; Geiger y Yamada, 2011), la traslación de estos conocimientos al ámbito clínico ha sido lenta. En los últimos años, y desde el terreno de la fisioterapia y de las terapias manuales, se viene reconociendo la importancia de estas estructuras en el mantenimiento de la homeostasis del sistema musculoesquelético (Pilat, 2003). El concepto de *tenseguridad* de Ingber de finales de la década de 1990 (2008), su empeño divulgativo y la reducción de la brecha entre investigación básica y la clínica han hecho que muchos profesionales de la salud comiencen a replantearse algunas de las actuaciones terapéuticas (Gosselin et al, 1998; Kjaer et al, 2006; Reeves, 2006).

Estas perspectivas se basan en la continuidad estructural existente entre los niveles macroscópicos, fasciales y los niveles microscópicos de la propia fibra muscular, en los que los envoltorios de tejido conjuntivo y la interacción de la fibra muscular con la matriz extracelular que las rodea adquieren el protagonismo a través, aunque no sólo, de la superfamilia de proteínas denominadas *integrinas* (Berg et al, 2002; Lodish et al, 2005; Lozano et al, 2005; Becker et al, 2007).

INICIO DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR: POTENCIAL POSTSINÁPTICO EXCITATORIO

Las fibras musculares se contraen cuando son estimuladas por una neurona motora situada en el asta anterior de la sustancia gris del nivel medular correspondiente. Cada neurona motora

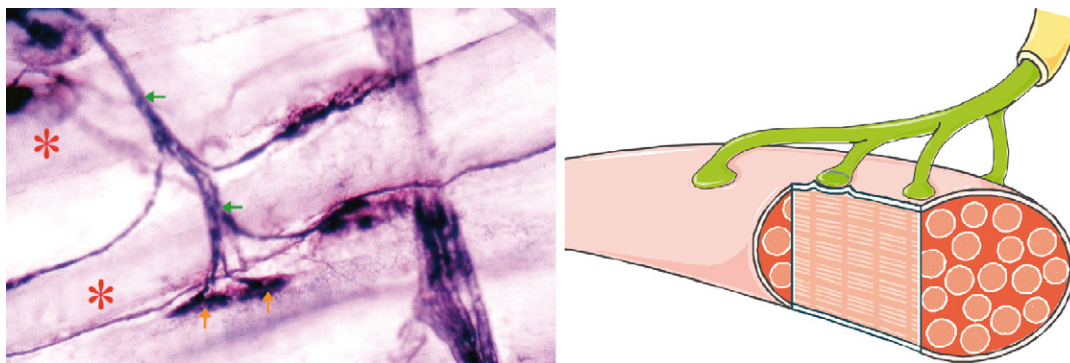


FIGURA 2.9 Placa motora.

aporta inervación a varias fibras musculares que se contraerán de forma simultánea (fig. 2.9, v. Presentación contenido online). La activación de diferentes neuronas motoras estimulará varios grupos de fibras musculares, lo que permitirá la regulación de la fuerza de contracción de todo el grupo muscular (Berne y Levy, 1992). Cada neurona motora, junto con todas las fibras musculares que inerva, se denomina *unidad motora*, descrita por Sherrington en 1906.

En promedio, una misma neurona motora puede estimular alrededor de 150 fibras musculares, aunque el número varía en función de la precisión necesaria para controlar la musculatura; de esta forma, las neuronas motoras que inervan la musculatura implicada en movimientos finos controlan a un menor número de fibras musculares; por el contrario, las neuronas motoras que inervan musculatura cuya función es generar una gran potencia controlan un mayor número de fibras musculares (Tortora y Derrickson, 2006; Thibodeau y Patton, 2008).

La llegada del potencial de acción al extremo axonal desencadena una rápida liberación del neurotransmisor que, en el caso que nos ocupa, es la *acetilcolina* (ACh). Durante el reposo eléctrico, las vesículas que contienen ACh se encuentran parcialmente fusionadas con la membrana plasmática a través de unas proteínas que conforman el *complejo de fusión* asociado a la membrana presináptica. El complejo de fusión fija la vesícula al nivel de atraque, pero sólo se produce la fusión real cuando el potencial de acción despolariza la membrana del extremo axonal (Denis y Lacour, 1998; Matthews, 2003; Fox, 2008).

En el axón terminal existen canales de Ca^{2+} regulados por voltaje que se abrirán ante la llegada del potencial de acción. La difusión de Ca^{2+} al interior celular actuará como segundo mensajero activando la *calmodulina* que, a su vez, activa a las *proteínas cinasas* que regulan la fusión de las vesículas contenedoras de la ACh con la membrana presináptica (fig. 2.10, v. Presentación contenido online).

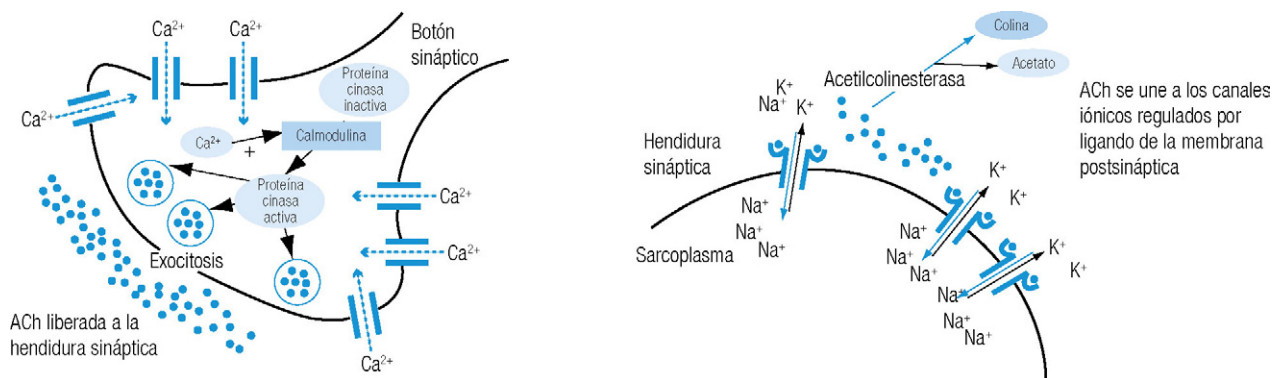


FIGURA 2.10 Sinapsis neuromuscular.

La toxina botulínica producida por la bacteria *Clostridium botulinum* y comercializada bajo el nombre de Botox® es una neurotoxina con acción proteasa que digiere componentes concretos del complejo de fusión, de manera que se produce un bloqueo temporal (pero suficiente para ser mortal por parálisis relajante) de la sinapsis química al impedir la liberación de la ACh (Lodish et al, 2005; Guyton y Hall, 2011).

La ACh liberada a la hendidura sináptica se unirá a su receptor ubicado en la membrana postsináptica. Los receptores colinérgicos presentes en las células musculares pertenecen al tipo de *receptor nicotínico* que se comportan como canales iónicos regulados por ligando (el ligando es la ACh). Estos canales poseen dos sitios de unión para la ACh que, cuando son ocupados, ocasionan el cambio conformacional del canal, de forma que se vuelve poroso tanto para el Na⁺ como para el K⁺, por lo que se producirá un flujo de entrada de Na⁺ y un flujo de salida de K⁺, aunque predominará la entrada de Na⁺ por su mayor gradiente electroquímico (Tortora y Derrickson, 2006; Becker et al, 2007; Scalón y Saunders, 2007). El resultado final es la producción de un potencial de acción postsináptico de excitación (PPSE). Debe remarcarse que a diferencia del potencial de acción eléctrico, en el PPSE no se produce inversión de la polaridad de la membrana debido a la salida simultánea de K⁺ y a que no existe un umbral, de manera que el *grado de despolarización* estará directamente relacionado con la cantidad de neurotransmisor liberado; además *no tienen período refractario*, por lo que su efecto será sumativo (Matthews, 2003; Fox, 2008).

La retirada de la ACh de la hendidura sináptica corre a cargo de la enzima *acetilcolinesterasa* (AChE) que la disociará en acetato y el aminoácido colina. La AChE es una proteína de membrana con acción enzimática y se encuentra anclada en la membrana postsináptica con su sitio de unión dirigido hacia la hendidura sináptica (Berg et al, 2002; Lozano et al, 2005).

MECANISMO DE LA CONTRACCIÓN DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

La fibra muscular, como cualquier otra célula, posee una membrana plasmática denominada *sarcolema*, en cuyo interior se encuentran los diferentes orgánulos celulares y la parte citoplasmática, que en este contexto se denomina *sarcoplasma*. Además, la célula muscular se caracteriza por poseer en su interior una gran cantidad de proteínas fibrilares o *miofibrillas* encargadas de generar el mecanismo de contracción de la fibra, de tal forma que los orgánulos, incluyendo a los *núcleos*, se encuentran dispuestos periféricamente. El retículo endoplásmico, llamado aquí *retículo sarcoplásmico*, es extenso y envuelve cada miofibrilla. Este retículo está constituido por túbulos longitudinales que liberarán iones de Ca²⁺ al sarcoplasma y *cisternas terminales* que concentran y almacenan Ca²⁺ (Denis y Lacour, 1998; Scalón y Saunders, 2007; Silberagl y Despopopoulos, 2007).

La red de *túbulos T* (de transversos) se encuentra asociada a las cisternas terminales. Al conjunto de un túbulo T junto a sus dos cisternas terminales se lo conoce con el nombre de tríada. En realidad, los túbulos T no son ni más ni menos que una continuación del sarcolema de la fibra muscular que se invagina hacia el interior celular, de tal forma que en la luz de los túbulos T encontraremos líquido extracelular. Si se piensa, es una forma realmente efectiva y rápida para trasladar los potenciales de acción generados en la placa motora hacia el interior de la fibra muscular y a cada paquete de miofibrillas (fig. 2.11, v. Presentación contenido online).

La contracción de la fibra muscular se realiza gracias a las más de 1.000 miofibrillas que puede contener. Cada miofibrilla está compuesta por varios tipos de proteínas que se pueden resumir en tres tipos: *contráctiles* (actina y miosina), *reguladoras* (tropomiosina y troponina) y *accesorias* (titina y nebulina) (Lodish et al, 2005; Silverthorn, 2008; Guyton y Hall, 2011).

El mecanismo de la contracción se explica mediante la *teoría de los filamentos deslizantes* propuesta en 1954 por Huxley y Niedergerke (Córdova, 2003; Ganong, 2005; Lodish et al, 2005; Becker et al, 2007; Fox, 2008; Silverthorn, 2008; Constanzo, 2011; Guyton y Hall, 2011) en la que está implicada la unidad funcional contráctil fundamental o *sarcómero* del músculo estriado que va desde una *línea Z* hasta la siguiente (fig. 2.12, v. Presentación contenido online).

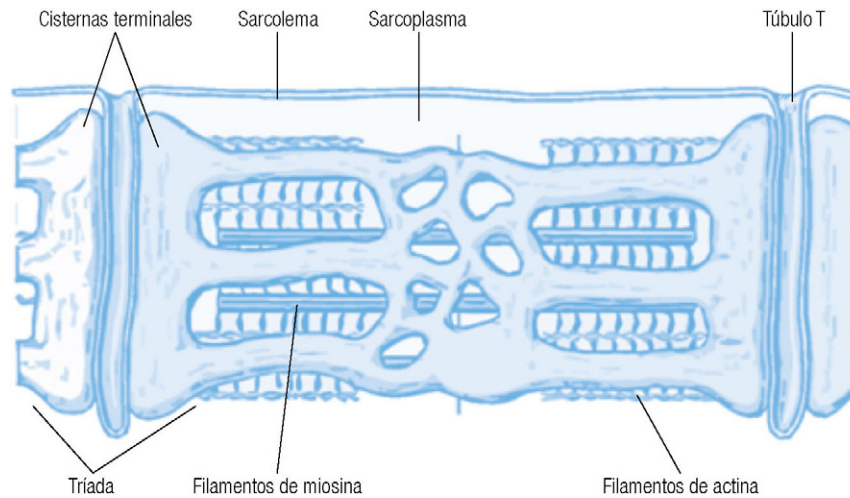


FIGURA 2.11 Túbulos T y cisternas del retículo sarcoplásmico.

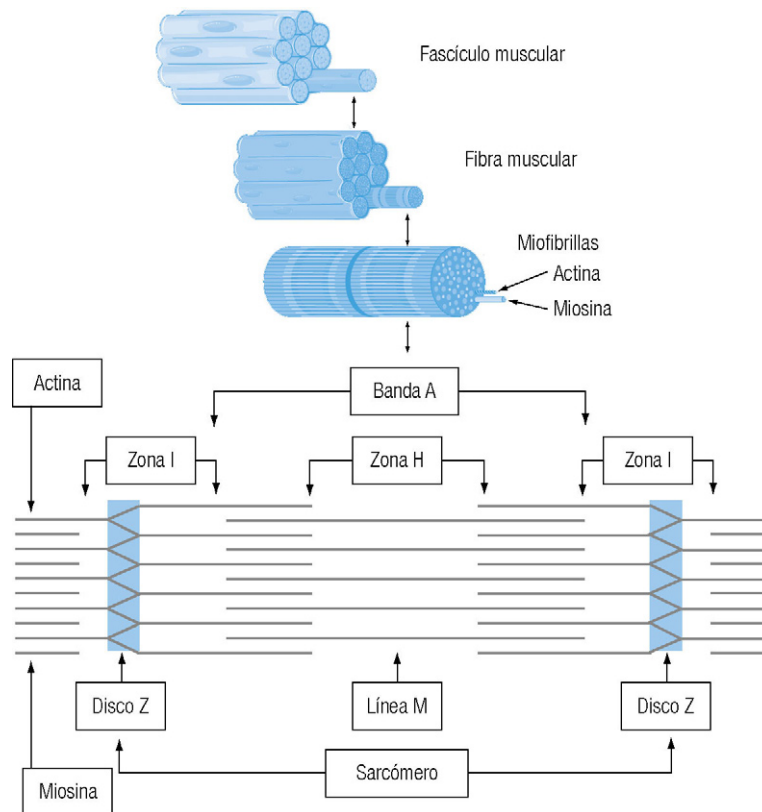


FIGURA 2.12 Disposición de los filamentos de actina y miosina.

En una situación de reposo, existe un ligero solapamiento entre los filamentos gruesos de miosina y los finos de actina a través de los denominados *puentes cruzados*. Cuando la fibra muscular es estimulada y se libera Ca^{2+} al citosol, el complejo regulador de *tropomiosina-troponina* libera los sitios de unión de la miosina con la actina. Además, es necesaria la presencia de ATP puesto que para que las cabezas de miosina arrastren a los filamentos de actina debe producirse un cambio conformacional en la miosina (Denis y Lacour, 1998; Tresguerres, 2005; López y Fernández, 2006).

Para la relajación muscular debe aclararse el Ca^{2+} presente en el citosol mediante las bombas de Ca^{2+} que lo retiran por transporte activo hacia el interior de las cisternas y debe consumirse de nuevo ATP para liberar los puentes cruzados establecidos entre las cabezas de miosina y los filamentos de actina (Córdova, 2003; Ganong, 2005; Fox, 2008; Constanzo, 2011; Guyton y Hall, 2011). Desajustes en los niveles de Ca^{2+} o una insuficiente disponibilidad de ATP por parte de la célula muscular pueden dar lugar a la aparición de espasmos o calambres musculares (el caso extremo de este fenómeno se puede observar en la *rigidez cadavérica*: la ausencia de ATP impide la liberación de las uniones actina-miosina que ocasionan una rigidez muscular que sólo se libera cuando las proteínas comienzan a descomponerse).

FIBRAS DE CONTRACCIÓN LENTA Y FIBRAS DE CONTRACCIÓN RÁPIDA

Es clásica la diferenciación de fibras musculares según su velocidad de contracción y su resistencia a la fatiga (Hendricks et al, 1973; Gauthier, 1979a, 1979b; Pierobon-Bormioli et al, 1981; Hintz, 1984; Sinacore et al, 1990; Gordon, 1994). De esta forma, se diferencian tres tipos de fibras musculares: las *fibras de tipo I* (o fibras de contracción lenta) y las *fibras de tipo II* (o fibras de contracción rápida, de las cuales, habitualmente, se diferencian dos subtipos).

Las diferencias se deben a la presencia de isoenzimas de la porción ATPasa de la miosina: recordemos que las cabezas pesadas de miosina poseen actividad ATPasa y que la hidrólisis de ATP en esta región es necesaria para generar la tensión que tirará de los filamentos de actina y que finalmente se traduce en un acortamiento de la fibra muscular. Las isoenzimas son enzimas que difieren en su secuencia de aminoácidos, pero que catalizan una misma reacción, aunque suelen mostrar patrones cinéticos o propiedades de regulación distintos que permiten flexibilidad metabólica ante las necesidades particulares de un determinado tejido (Paniagua et al, 2003; Lodish et al, 2005; Alberts et al, 2008).

Estas diferencias se traducen en una mayor rapidez en la contracción de la fibra muscular, entre dos y tres veces más rápida que las fibras lentas (Stabler et al, 2006; Silverthorn, 2008). A modo de ejemplo, los músculos extraoculares tienen una proporción elevada de fibras de contracción rápida y alcanzan su tensión máxima en unos 7,3 ms; por el contrario, el músculo sóleo, que posee una proporción alta de fibras de contracción lenta, requiere aproximadamente 100 ms para generar la tensión máxima (Fox, 2008).

No obstante, no sólo existen diferencias en el tipo de ATPasa de las cabezas de miosina; el resto de componentes celulares varía en relación con el papel que desempeña la musculatura. De esta forma, se dice que los músculos posturales actúan mediante contracciones mantenidas en el tiempo sin presentar fatiga, presentan una gran cantidad de fibras de tipo I; además de funcionar con tiempos de contracción más lentos, su bioenergética está adaptada a desarrollar un metabolismo de tipo aeróbico oxidativo, por lo que en ocasiones a este tipo de fibras también se las denomina *fibras oxidativas lentas*. Además, poseen un abundante aporte capilar, numerosas mitocondrias y una concentración importante de mioglobina, que será la proteína intracelular responsable de captar el oxígeno cedido por la hemoglobina. Es esta mioglobina la que les confiere un aspecto rojizo, por lo que también se las denomina *fibras rojas* (Denis y Lacour, 1998; Guyton y Hall, 2011).

Las fibras de contracción rápida (tipo II) son más gruesas, presentan un menor número de capilares y de mitocondrias, y en su bioenergética predomina el metabolismo anaeróbico con grandes reservas de glucógeno y de enzimas glucolíticas (Ganong, 2005). Concretamente, estas fibras suelen denominarse *fibras glucolíticas rápidas* o *fibras de tipo IIB*, aunque si nos estamos refiriendo a humanos, suelen recibir el nombre de *fibras de tipo IIX* (Fox, 2008).

En los humanos se ha descrito otro tipo de fibras que podemos llamar *intermedias* porque poseen tiempos de contracción rápida, pero también una capacidad de elevada de realizar metabolismo oxidativo. Podemos encontrarlas bajo las denominaciones de *fibras de tipo IIA* o *fibras oxidativas rápidas*. Dada su menor cantidad de mioglobina muestran un aspecto menos rojizo y por ello también reciben el nombre de *fibras blancas* (López y Fernández, 2006).

TABLA 2.4 Características de los diferentes tipos de fibras musculares

Características	Fibras tipo I (lentas, oxidativas, rojas)	Fibras tipo IIa (rápidas, oxidativas, rojas)	Fibras tipo IIx (rápidas, glucolíticas, blancas)
Diámetro	Pequeño	Intermedio	Grande
Grosor línea Z	Ancha	Intermedia	Estrecha
Velocidad de contracción	Lenta	Intermedia	Rápida
Actividad de miosina ATPasa	Lenta	Rápida	Rápida
Duración de la contracción	Larga	Corta	Corta
Contenido de glucógeno	Bajo	Intermedio	Alto
Actividad de Ca^{2+} ATPasa en el retículo sarcoplásmico	Moderada	Alta	Alta
Metabolismo	Oxidativo aeróbico	Glucolítico, pero se vuelve más oxidativo con entrenamiento de resistencia	Glucolítica
Densidad de capilares	Alta	Intermedia	Alta
Contenido en mioglobina	Alto	Alto	Alto
Mitocondrias	Abundantes	Moderada	Pocas
Resistencia	Resistente a la fatiga	Resistente a la fatiga	Poco resistente a la fatiga
Uso	Más utilizado: postura	Posición de pie, caminar	Menos utilizado: salto

Modificado de Fox, Silverthorn y Guyton (Fox, 2008; Guyton y Hall, 2011; Silverthorn, 2008).

En la tabla 2.4 se resumen algunas de las características de los tres tipos de fibra muscular. No obstante, las proporciones de los distintos tipos de fibras son muy variables entre los individuos y entre los diferentes músculos. La composición muscular está condicionada genéticamente, pero también puede verse afectada por componentes epigenéticos, por ejemplo, el entrenamiento.

Por último, en relación con estas cuestiones, debe recordarse que las unidades motoras están relacionadas con el tipo de fibra que inervan. Las unidades motoras que inervan fibras de contracción lenta son menores que las que inervan fibras de contracción rápida y el reclutamiento de fibras se hace desde las unidades motoras más pequeñas hacia las unidades motoras más grandes, que son las que generarán mayor tensión.

Son estas respuestas fisiológicas diferenciadas las que justifican la elección de distintos parámetros en las aplicaciones de electroestimulación con el objeto de ajustar el estímulo eléctrico exógeno a las respuestas fisiológicas reales. En especial, los parámetros de amplitud de fase y la frecuencia de los impulsos eléctricos nos permitirán realizar una electroestimulación más ajustada a las condiciones fisiológicas de los grupos musculares tratados (Basas, 2001; Linares et al, 2004; Requena et al, 2005; Johnson, 2008; Amer-Cuenca, 2010).

TIPOS DE CONTRACCIÓN MUSCULAR Y FUERZA DE LA CONTRACCIÓN

La fuerza de la contracción de un determinado músculo se ve influida por diferentes factores relacionados con el número de fibras del músculo, la frecuencia de la estimulación, el grosor de cada fibra muscular (las fibras musculares más gruesas poseen un mayor número de filamentos contráctiles y, en consecuencia, pueden generar más fuerza) y la longitud inicial de las fibras musculares cuando se encuentran en reposo (Ganong, 2005; López y Fernández, 2006; Guyton y Hall, 2011).

La tensión que puede generar una fibra muscular es proporcional a la cantidad de puentes cruzados formados entre los filamentos gruesos de miosina y los delgados de actina. Por tanto, la longitud *óptima* del músculo es aquella en la que genera una mayor tensión (fig. 2.13, v. Presentación contenido online). En la sarcómera se ha determinado que las longitudes ideales de ésta donde se puede generar una mayor tensión oscilan entre 2 y 2,2 μm (Silbernagl y Despopoulos, 2007; Fox, 2008; Silverthorn, 2008; Thibodeau y Patton, 2008). Mayores longitudes de la sarcómera implican un menor solapamiento de los filamentos de actina y miosina y, por tanto, menos posibilidades de establecer los puentes cruzados para el deslizamiento. Por el contrario, longitudes de la sarcómera menores ocasionan un excesivo solapamiento, con el consiguiente aumento de las interacciones moleculares de los componentes proteicos. La longitud normal del músculo se establece mediante las contracciones reflejas en respuesta al estiramiento pasivo regulado por los husos neuromusculares.

Cuando se estimula eléctricamente a un músculo con una intensidad suficiente, se produce una respuesta contráctil denominada *sacudida*. Al incrementar la intensidad del estímulo aumenta la fuerza de la sacudida hasta alcanzar un umbral máximo. La duración del potencial de acción muscular es de unos 5 ms, un tiempo mucho más corto que el que se necesita para la contracción. De este modo, es posible una rápida repolarización de la membrana antes de que la contracción haya concluido. Si se aplica una segunda descarga inmediatamente después de la primera, tiene lugar una segunda sacudida que puede solaparse sobre la primera aumentando la tensión. A este tipo de respuesta se la denomina *sumación temporal*. De esta forma, los músculos esqueléticos pueden generar *contracciones graduadas* cuya fuerza dependerá del número de fibras que se estimulan.

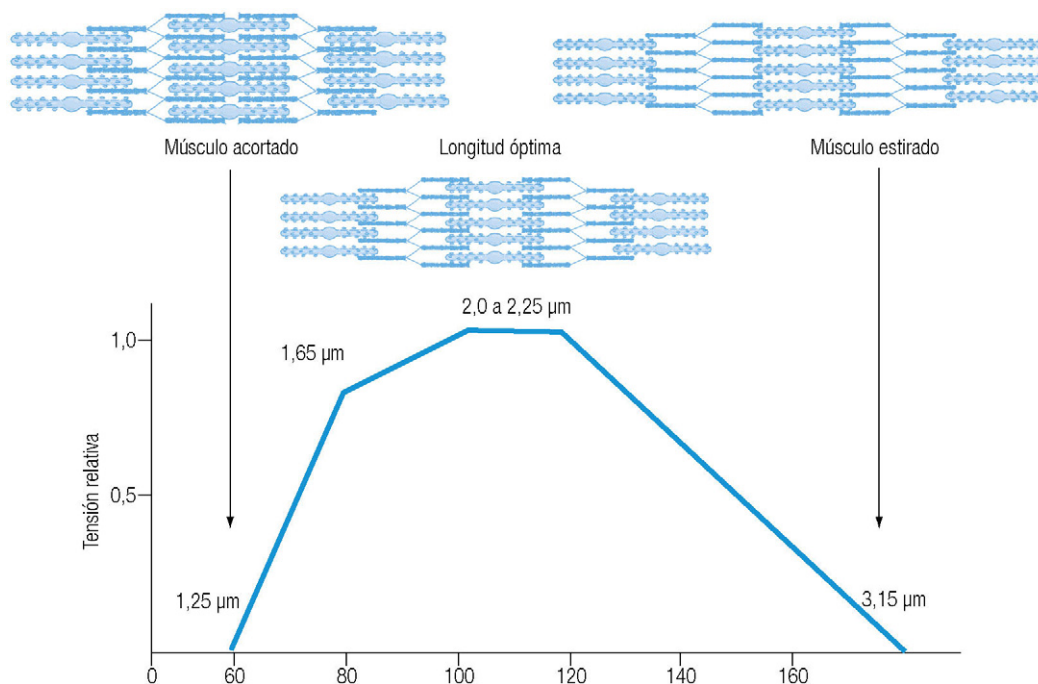


FIGURA 2.13 Relación tensión-relajación del músculo.

Si programamos un electroestimulador con impulsos eléctricos de frecuencias crecientes veremos cómo se van acortando los tiempos entre contracción y contracción hasta llegar a una *tetania parcial*. Si se sigue aumentando la frecuencia se llega a la situación de *tetania completa*, en la que no se observa una relajación visible y la contracción es sostenida. En una situación fisiológica *in vivo*, cuando un axón somático (perteneciente a una neurona motora situada en el asta anterior de la médula) se activa, se contraerán todas las fibras musculares que inerva. Como cada músculo está compuesto por múltiples unidades motoras, la graduación en la fuerza y duración de la contracción muscular se regula controlando el tipo de unidad motora que se contrae y el número de unidades motoras que actúan en un determinado momento. En términos generales, para el mantenimiento del tono postural, la neurona motora descarga con una frecuencia de alrededor de 5 Hz; para el movimiento voluntario, con una frecuencia de 8 Hz, y para el movimiento intenso puede llegar a los 25 Hz.

Cuando es necesario generar una fuerza mínima, el estímulo hace que respondan las neuronas motoras con un umbral de activación más bajo y que parece que están relacionadas con las fibras musculares de contracción lenta resistentes al cansancio (Sinacore et al, 1990; Silvert-horn, 2008; Guyton y Hall, 2011). Si aumenta el estímulo, comienzan a estimularse neuronas motoras con umbrales de excitación más altos. Este proceso se conoce con el nombre de *reclutamiento*. Durante esta respuesta muscular, el reclutamiento se produce de forma *asincrónica*, de manera que mientras unas neuronas motoras se activan, las otras se desactivan para permitir la recuperación y evitar la fatiga. Si el estímulo es máximo, sobrevendrá la fatiga y con ella la imposibilidad de mantener la contracción.

Desde el punto de vista de la mecánica del movimiento corporal, las contracciones musculares suelen clasificarse en:

1. **Isotónicas.** Son contracciones que generan una fuerza y se mueve una carga. Si con el movimiento se produce un acortamiento de la longitud del músculo (p. ej., al coger una mancuerna con la mano y flexionar el codo hasta llevarla al hombro), la contracción se denomina *isotónica concéntrica*. Si, por el contrario, se produce un alargamiento del músculo a pesar de estar realizando una contracción (p. ej., cuando estamos sentados en un banco de cuádriceps con el peso fijado en el tobillo y frenamos la caída del peso contrayendo aquél), la contracción se denomina *isotónica excéntrica*. Debe tenerse en cuenta que durante una contracción excéntrica la tensión sufrida por la fibra muscular es máxima puesto que, por una parte, los filamentos de actina y miosina intentan solaparse y crear puentes de unión mientras que, por otro, la sarcómera se alarga. Por ello se considera que el trabajo excéntrico es el que más contribuye al daño celular después del ejercicio y conduce al dolor muscular tardío (*DOMS: Delayed Onset of Muscle Soreness*) o *agujetas* (Ernst, 1998; Stay et al, 1998; Allen et al, 1999; Stupka et al, 2000; Vickers, 2001; Hilbert et al, 2003; Zainuddin et al, 2005; Crameri et al, 2007).
2. **Isométricas.** La forma más sencilla de definir las es como la contracción que se produce sin generar recorrido articular, lo que no quiere decir que no se genere tensión en las fibras musculares (Hunter y Enoka, 2003; Barclay y Loiselle, 2007; Edman y Josephson, 2007; Mettikolla et al, 2010).
3. **Isocinéticas.** Son las que se realizan manteniendo constante la velocidad angular o de giro de la palanca muscular que está trabajando. Esto se consigue con aparatos isocinéticos que permiten fijar la velocidad a la que se va a realizar el movimiento, adaptándola a la resistencia o carga de trabajo que se tiene que vencer. De esta forma se desarrolla la máxima tensión en cada instante para cada ángulo (Córdova, 2003; Costa et al, 2010; Lustosa et al, 2010; Santos et al, 2010).

FATIGA, ADAPTACIÓN AL ENTRENAMIENTO, DAÑO Y REPARACIÓN MUSCULAR

El término *cansancio* o *fatiga* hace referencia a la condición en la cual un músculo no puede generar o sostener la contracción deseada, es decir, la reducción de la capacidad de generar

fuerza o potencia como consecuencia del ejercicio. No obstante, es un fenómeno complejo y no del todo bien entendido. Se han propuesto múltiples factores que pueden clasificarse en mecanismos de *cansancio de origen central* (Allen et al, 2008; Cairns y Lindinger, 2008; Secher et al, 2008; Taylor y Gandevia, 2008; Hunter, 2009), de aparición en el sistema nervioso central, y mecanismos de *cansancio periférico*, que lo hacen en cualquier punto entre la unión neuromuscular y los elementos contráctiles del músculo (Denis y Lacour, 1998; Córdova, 2003; Tresguerres, 2005; Silverthorn, 2008).

La fatiga que aparece durante la contracción máxima mantenida (con reclutamiento de todas las unidades motoras y estimulación nerviosa máxima) posiblemente se deba a una acumulación de K^+ extracelular como consecuencia de la salida de este ión desde los axones y las fibras musculares durante la fase de repolarización de los potenciales de acción. Esta salida de K^+ reducirá el potencial de membrana (podríamos decir que la *hiperpolariza*) con lo que se dificultará la nueva generación de potenciales de acción. Esta situación será de corta duración y con un breve reposo se estará en disposición de volver a generar una tensión máxima (Vidmaier et al, 2001; Matthews, 2003; López y Fernández, 2006; Fox, 2008).

Desde el punto de vista metabólico, el cansancio muscular se debe al agotamiento del glucógeno muscular y a una reducción de la capacidad del retículo sarcoplásmico para liberar Ca^{2+} y, como consecuencia, a un fallo en el acoplamiento excitación-contracción. Se sabe que la producción de fatiga muscular aparece cuando se acumula ácido láctico en la fibra muscular y que el restablecimiento de la respiración aerobia permite recuperar las reservas de glucógeno muscular y la capacidad de contracción. Este hecho indujo a pensar que la bajada del pH producida por la acumulación de lactato interfería con el acoplamiento excitación-contracción. Sin embargo, existen otras evidencias que parecen sugerir otros factores como causas de la fatiga durante el ejercicio, como la ya mencionada depleción intracelular de K^+ intracelular y la acumulación del K^+ extracelular de los túbulos T, o la acumulación del P_i (fosfato inorgánico) citoplasmático procedente de la degradación de la fosfocreatina y ATP en la fibra muscular. El aumento de la concentración de P_i enlentecería la liberación del P_i de la miosina afectando al movimiento de ésta sobre los filamentos de actina. Otros autores sugieren que el P_i se combinaría con el Ca^{2+} originando fosfato cálcico o bien interferiría con la dinámica de liberación del Ca^{2+} desde el retículo sarcoplásmico (Favero, 1999; Allen y Westerblad, 2001; Gandevia, 2001; Rubtsov, 2001; Stackhouse et al, 2001; Westerblad y Allen, 2002; Enoka y Duchateau, 2008; Mckenna et al, 2008).

El cansancio de origen central es, si cabe, más complejo. Implica a mecanismos propios del sistema nervioso central, como una reducción de la capacidad de las interneuronas del cerebro cuya función es controlar a las neuronas motoras situadas en las astas anteriores de la médula, y componentes subjetivos y emocionales. Diversos autores han demostrado que el cansancio de carácter psicológico precedería al cansancio muscular (Gandevia et al, 1995; Blomstrand, 2001; Meeusen et al, 2006; Dalsgaard y Secher, 2007).

La forma en la que la musculatura responderá a la sollicitación mecánica dependerá en gran medida del grado de adaptación del sujeto a la actividad física. El consumo máximo de oxígeno que puede alcanzarse durante un ejercicio intenso se ha estimado en unos 50 ml/min·kg en hombres de unos 25 años (los consumos en mujeres son, en promedio, ligeramente inferiores). En deportistas de resistencia pueden registrarse consumos de hasta 80 o 90 ml/min·kg. Estas diferencias en los consumos de oxígeno influyen también en el umbral de lactato (punto en el que las concentraciones de lactato aumentan como consecuencia del paso, por parte de la célula muscular, de un metabolismo predominantemente aeróbico a un metabolismo predominantemente anaeróbico) y, en consecuencia, en la cantidad de ejercicio que puede realizarse antes de que la acumulación de ácido láctico contribuya a la fatiga muscular. Los sujetos entrenados presentan un umbral de lactato (o umbral anaeróbico) a niveles de consumo mayores, lo que se traduce en la posibilidad de hacer más ejercicio antes de que aparezca la fatiga.

Cualquier adaptación que permita ahorrar glucógeno o retardar su depleción mejorará la resistencia del músculo. En los sujetos entrenados, la mayor parte de la energía se obtiene por

la participación de los ácidos grasos, lo que permite un agotamiento del glucógeno más lento. Sin entrar en demasiados detalles porque la extensión del capítulo no lo permite, las adaptaciones a la resistencia muscular consisten en el incremento de mitocondrias con las consiguientes enzimas participantes en las rutas metabólicas aeróbicas, la disminución de las fibras de tipo IIX (o IIB) y un incremento de las fibras *mixtas* (IIA, oxidativas rápidas) que, aunque se consideran de contracción rápida, sintetizan la isoenzima lenta de la ATPasa de la miosina (Pierobon-Bormioli et al, 1981; López y Fernández, 2006; Moore et al, 2009; Verdijk et al, 2009; Burd et al, 2010; Lebrasseur et al, 2011).

El entrenamiento de resistencia no incrementa el tamaño del músculo, que sólo lo hace tras ejercicio frecuente a intensidades altas en las que aquél trabaja contra grandes resistencias. Las fibras musculares de tipo II se hacen más gruesas por una mayor síntesis de las proteínas que forman las miofibrillas y la formación de nuevos sarcómeros, y entonces se dice que el músculo ha crecido por *hipertrofia* (Klossner et al, 2009; Shabarchin y Tsaturyan, 2010). En un segundo momento, es posible que las miofibrillas hipertrofiadas se desdoblén en dos miofibrillas que, a su vez, pueden seguir hipertrofiándose (Lee, 2004; López y Fernández, 2006; Fox, 2008; Burd et al, 2010; Lebrasseur et al, 2011).

Cuando el tipo de actividad o las demandas mecánicas a las que se somete a la fibra muscular son excesivas puede comprometerse la integridad de la misma y puede lesionarse (fig. 2.14, v. Presentación contenido online). La destrucción de fibras del músculo estriado supone que el resto de fibras sanas no puedan dividirse para sustituir a las fibras dañadas. No obstante, los músculos esqueléticos poseen células no diferenciadas (células madre), denominadas *células satélite*, ubicadas en la periferia de los músculos que, tras una lesión, se activan, proliferan y forman nuevas fibras musculares. Sin embargo, no están claros los motivos por los que esta capacidad de regeneración es incompleta y se ve reducida con la edad. Se ha visto anteriormente que cuando la musculatura se hipertrofia lo hace a instancias del aumento del número y grosor de miofibrillas, el número de núcleos de cada fibra debe incrementarse de forma proporcional al mayor volumen de la fibras. Son las células satélite las que proporcionan estos nuevos núcleos (Serrano et al, 2008, 2011; Sousa-Víctor et al, 2011).

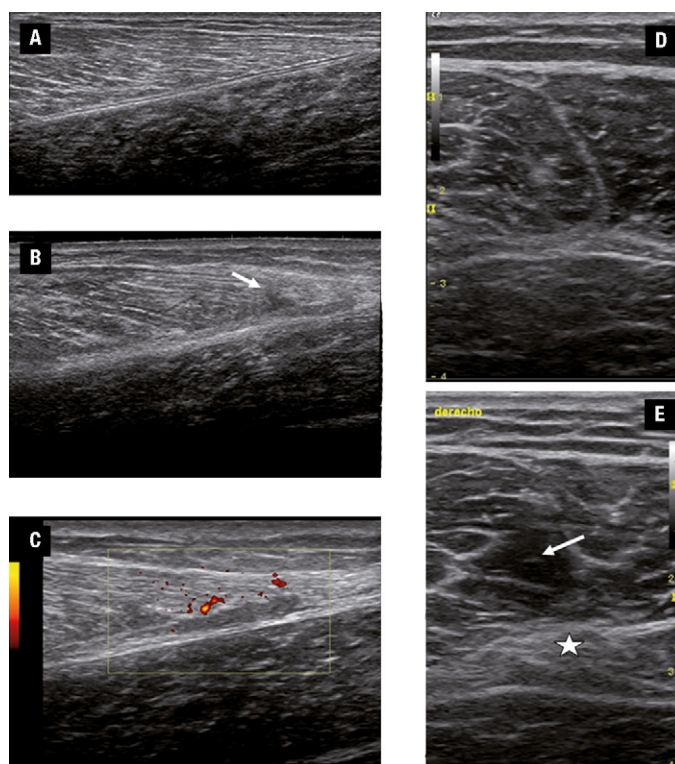


FIGURA 2.14 Imágenes ecográficas de lesiones musculares.

Es posible que en los últimos tiempos hayamos oído o leído alguna noticia en la prensa relacionada con la *mioestatina* (también llamada GDF-8: *Growth Differentiation Factor 8*) perteneciente a la familia de los TGF β (*Transforming Growth Factor β*). Es una proteína que actúa como regulador paracrino (se libera por las propias células musculares y actúa sobre ellas), descubierto recientemente en los músculos esqueléticos y que parece actuar inhibiendo las células satélites y la proliferación muscular. Se ha comprobado en animales de experimentación que cuando se inhibe el gen que expresa la mioestatina se produce un aumento de la masa muscular de los animales hasta 2,5 veces mayor que en una situación normal. En la actualidad constituye una línea de investigación muy activa por sus potenciales aplicaciones sanitarias (Mcpherron et al, 1997; Schuelke et al, 2004; Carnac et al, 2006).

CONTROL NERVIOSO DE LOS MÚSCULOS ESQUELÉTICOS

Un movimiento armonioso y coordinado depende de la contracción correcta de los músculos adecuados en el momento adecuado. El control del movimiento coordinado es complejo, puesto que requiere una combinación apropiada de excitación e inhibición de distintas neuronas motoras en determinados patrones que conduzcan al movimiento deseado (Cramp y Scott, 2009).

Las neuronas motoras situadas en las astas anteriores de la médula espinal y que, junto a las fibras musculares que inervan, forman la *unidad motora*, están influidas o, si se quiere, reguladas, por neuronas motoras superiores localizadas en el cerebro y cuyos axones constituyen las *vías motoras descendentes*, y por la información sensitiva recogida por los receptores tendinosos, musculares y articulares. Las neuronas motoras reciben el nombre de *vía final común* porque es a través de ellas que los estímulos sensitivos y los centros cerebrales superiores ejercen el control del movimiento (Matthews, 2003; Tortora y Derrickson, 2006; Mulroney y Myers, 2011; Purves et al, 2011). En este apartado se expondrán brevemente los mecanismos de control muscular relacionados con los *husos musculares* y los *órganos tendinosos de Golgi*.

Los cuerpos de las neuronas motoras alfa se sitúan en las astas anteriores de la médula espinal y sus axones abandonan (son, por tanto, fibras *eferentes*) la médula formando las raíces anteriores de los nervios espinales. Las raíces posteriores de los nervios espinales llevan las fibras sensitivas, cuyos cuerpos neuronales están situados en los ganglios de las raíces posteriores. Estas fibras realizan una sinapsis con neuronas situadas en las astas posteriores de la médula (son, entonces, fibras *aferentes*). Se estima que en la región lumbar, cada nervio espinal tiene aproximadamente unas 12.000 fibras sensitivas y unas 6.000 fibras motoras (Fox, 2008).

Por otra parte, la mayoría de las neuronas situadas en un segmento determinado de la médula actúan como *interneuronas* enviando sus axones por las vías ascendentes, descendentes y transversales, de manera que estas interneuronas trasiegan información con otras neuronas situadas en niveles superiores e inferiores, bien en el mismo lado (*ipsilaterales*) o bien con el lado opuesto (*contralaterales*).

Se ha mencionado antes que las neuronas motoras se ven influidas por la información recogida por los **husos musculares**. Éstos son las estructuras sensitivas que se encuentran entre las fibras del músculo esquelético encargadas de controlar el grado de estiramiento de dichas fibras. El número es variable de una musculatura a otra, pero son más abundantes en los músculos que necesitan de un control más fino para realizar su función (Tresguerres, 2005; Silbernagl y Despopoulos, 2007; Silverthorn, 2008).

El propio huso muscular está formado por fibras musculares denominadas *fibras intrafusales*, rodeadas de una vaina de tejido conjuntivo, que también se insertan en los correspondientes tendones (fig. 2.15, v. Presentación contenido online). Por tanto, las fibras intrafusales están situadas en paralelo con las fibras de músculo esquelético «normal» o *fibras extrafusales*. Es lógico que si la función del huso muscular es detectar y controlar el grado de estiramiento de las fibras extrafusales, las fibras intrafusales se dispongan paralelamente a ellas. No obstante, la estructura de las fibras intrafusales es diferente a la de las fibras extrafusales.

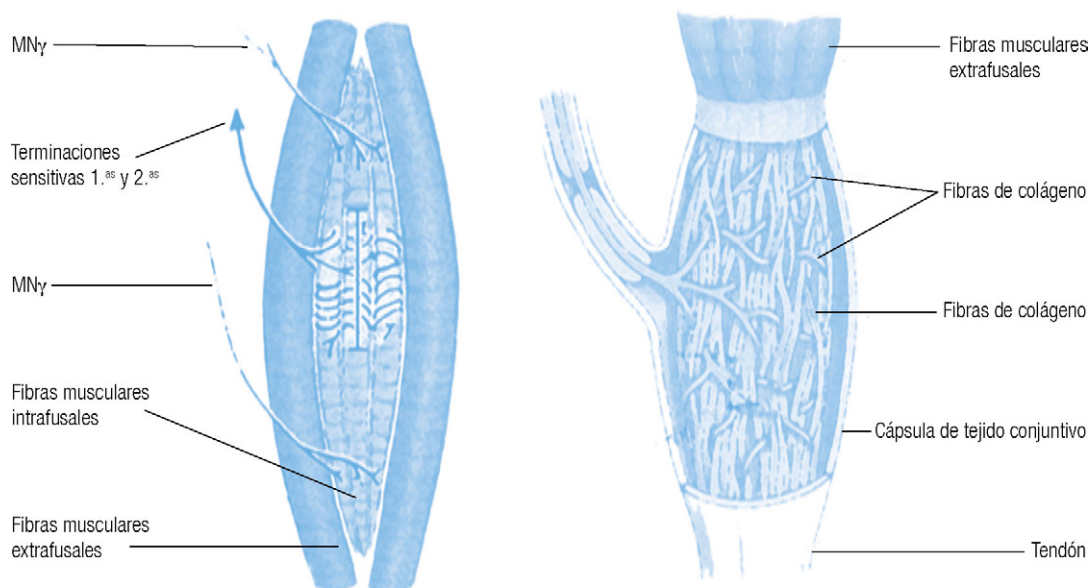


FIGURA 2.15 El huso muscular y el órgano tendinoso de Golgi.

Las fibras del huso muscular no contienen miofibrillas contráctiles en su parte central (sí en sus extremos), que queda reservada para alojar a los núcleos. De esta forma, se describen dos tipos de fibras intrafusales: a) *fibras intrafusales con bolsa de núcleos*, en las que los núcleos se encuentran «apelotonados» en el centro, y b) *fibras intrafusales con cadenas de núcleos*, en las que éstos se encuentran en la parte central, pero más alineados. Estos dos tipos de fibras intrafusales están inervados de forma diferente. Las *terminaciones sensitivas anuloespirales* (o primarias) rodean las regiones centrales de las fibras con bolsas de núcleos y de las fibras con cadenas de núcleos, mientras que las *terminaciones sensitivas ramificadas* (o secundarias) sólo llegan a los extremos de las fibras con cadenas de núcleo (Cronin et al, 2009; Ribot-Ciscar et al, 2009; Hamill, 2010).

Tanto en las terminaciones primarias como en las secundarias la frecuencia de estimulación es proporcional a la longitud del músculo, si bien actúan en momentos diferentes. Mientras que las terminaciones primarias responden con más intensidad al inicio del estiramiento, las terminaciones secundarias lo hacen con el mantenimiento de éste. Así se recoge información sobre la *velocidad* y el *grado* del estiramiento. En cualquier caso, si el estiramiento muscular es brusco y rápido, ambos tipos de fibras responderán y la contracción refleja subsiguiente será mayor (Ganong, 2005; Fox, 2008; Hamill, 2010; Guyton y Hall, 2011).

Parece coherente que si existen dos tipos de fibras musculares, las extrafusales y las intrafusales, su contracción esté controlada por tipos de neuronas motoras distintas. Las *neuronas motoras α* (alfa) inervarán a las fibras extrafusales y las *neuronas motoras γ* (gamma) lo harán sobre las fibras intrafusales. Se asume que la contracción muscular se sostiene gracias a las fibras extrafusales y que la contribución de las fibras intrafusales a la tensión muscular es mínima.

La función de las neuronas motoras γ sería la de provocar la contracción isométrica de las fibras intrafusales. Ahora bien, dado que los filamentos contráctiles del huso solamente se sitúan en los extremos del huso y la región central queda ocupada por los núcleos, cuando se produce una contracción de las fibras intrafusales en realidad lo que ocurre es que el huso muscular se estira. Este estiramiento de los husos musculares aumenta su sensibilidad cuando tiene lugar un estiramiento pasivo de todo el músculo debido a fuerzas externas, por lo que puede decirse que la activación de las neuronas motoras γ incrementa el reflejo de estiramiento y que serán un factor importante en el control de los movimientos esqueléticos (Denis y Lacour, 1998; Córdova, 2003; Cronin et al, 2009; Constanzo, 2011).

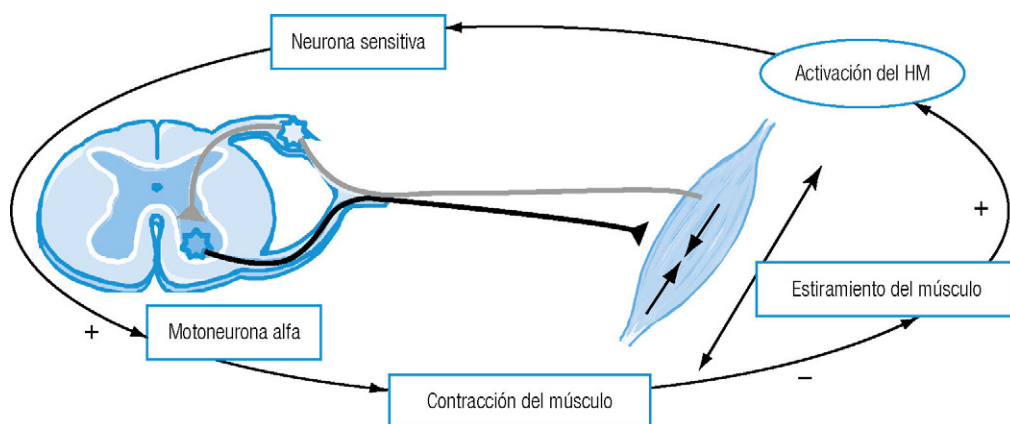


FIGURA 2.16 Reflejo monosináptico-reflejo de estiramiento.

Las neuronas motoras α y γ generalmente se activan de forma simultánea, son *coactivadas* por neuronas motoras superiores, bien de forma directa o bien a través de sinapsis previas con interneuronas medulares. La activación de las neuronas motoras α producirá una contracción muscular, mientras que la activación de las neuronas motoras γ estimulará la contracción de las fibras intrafusales que, a su vez, ayudarán a mantener el huso muscular con un cierto grado de estiramiento, dispuesto para responder, aunque el músculo extrafusar que le rodea esté acortado. De esta forma siempre se mantendrá un cierto *tono muscular*.

La contracción refleja de los músculos esqueléticos tiene lugar en respuesta a estímulos sensitivos y no dependen de la activación de centros superiores. El *reflejo de estiramiento muscular* es el ejemplo de reflejo más sencillo, de tipo monosináptico. En él sólo tiene lugar una sinapsis en la médula espinal, aunque en condiciones fisiológicas se activan múltiples neuronas sensitivas y motoras (fig. 2.16, v. Presentación contenido online).

Si se golpea con un martillo de reflejos en el tendón rotuliano se provocará un estiramiento repentino de la masa muscular del cuádriceps y, en consecuencia, los husos musculares se activarán. Las señales eléctricas generadas por las fibras primarias y secundarias llegarán a la neurona sensitiva que posee sinapsis directa con las neuronas motoras α , que se activarán y producirán la contracción isotónica del músculo estirado por el golpeteo del martillo.

Los **órganos tendinosos de Golgi** (OTG) son mecanorreceptores ubicados en las regiones tendinosas, cercanos, con cierta frecuencia, a la zona de transición miotendinosa. Se estimulan con las fuerzas deformantes que actúan sobre la matriz extracelular del tendón cuando se genera tensión sobre el mismo como consecuencia de la contracción o del estiramiento muscular (Walker, 1990; Mileusnic y Loeb, 2006; Iqbal y Roy, 2009). La información llega a las correspondientes neuronas sensitivas, que establecen una sinapsis con *interneuronas inhibitorias* en la médula espinal, que actuarán sobre las neuronas motoras que inervan el músculo inhibiendo su estimulación y, en consecuencia, la contracción. En este reflejo participan dos sinapsis y, a diferencia del reflejo de estiramiento, es un reflejo inhibitorio (fig. 2.17, v. Presentación contenido online).

La situación fisiológica real es un poco más compleja que lo descrito con anterioridad. Por ejemplo, en el reflejo de estiramiento, la neurona sensitiva que estimula a la neurona motora para producir la contracción muscular, *también* estimula a las interneuronas inhibitorias de la *musculatura antagonista*. A este reflejo se le denomina *reflejo de inhibición recíproca* (o inervación recíproca, sin más). Además, pueden combinarse varios reflejos que afecten a varios grupos musculares de forma que se activen los *agonistas* del movimiento y a la vez se inhiban los *antagonistas*. Si se produce una triple flexión de tobillo, rodilla y cadera, se inhibirá la musculatura antagonista para permitir el movimiento y se producirá otro reflejo en el miembro *contralateral*, de forma que se activen los *extensores*. Ésta es la situación del *reflejo extensor cruzado*. No debemos olvidar que son reflejos y que se desencadenarán si no hay control de los centros

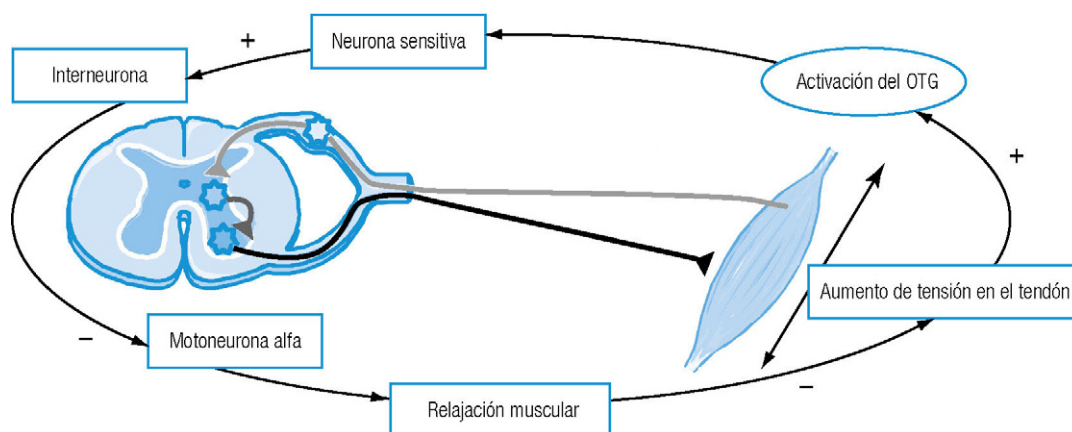


FIGURA 2.17 Reflejo polisináptico-reflejo de inhibición.

superiores (Berne y Levy, 1992; Vidmaier et al, 2001; Matthews, 2003; Purves et al, 2011; McGeown, 2007). En la tabla 2.5 se expone una clasificación de los reflejos neurales.

Finalizaremos este apartado con unos breves apuntes acerca del control de la musculatura esquelética por parte de los **centros nerviosos superiores**. Las neuronas motoras superiores se hallan situadas en el cerebro y realizarán sinapsis tanto con las neuronas motoras α como con las neuronas motoras γ situadas en los diferentes niveles medulares. Las neuronas de la región cortical prefrontal envían eferencias que se decusan a través de los fascículos piramidales del bulbo raquídeo (*vías piramidales*). Neuronas situadas en otras regiones del cerebro emiten otras eferencias que dan origen a las *vías extrapiramidales*. Las neuronas que dan lugar a las vías extrapiramidales son las que controlan la inhibición de las neuronas motoras inferiores, de forma que si existe una lesión en las neuronas que dan lugar a estas vías, se producirá una deficiencia en la inhibición de las neuronas motoras y, en consecuencia, aparecerán patrones de contracciones musculares no controlados denominadas *contracciones espásticas* (Berne y Levy, 1992; Matthews, 2003; Guyton y Hall, 2011; Purves et al, 2011).

TABLA 2.5 Clasificación de los reflejos neurales

Clasificación	Características
La división eferente que controla el efector	Las neuronas motoras somáticas controlan los músculos esqueléticos
	Las neuronas autónomas controlan el músculo liso y el músculo cardíaco, las glándulas y el tejido adiposo
La región integradora dentro del sistema nervioso central	Los reflejos espinales no requieren aferencias del cerebro (de los centros superiores)
	Los reflejos craneales se integran dentro del cerebro
El tiempo en el cual se desarrolla el reflejo	Los reflejos innatos están determinados genéticamente
	Los reflejos aprendidos (condicionados) se adquieren a través de la experiencia
La cantidad de neuronas implicadas en el arco reflejo	Los reflejos monosinápticos tienen sólo dos neuronas, una aferente (sensitiva) y una eferente
	Los reflejos polisinápticos incluyen una o más interneuronas entre las neuronas aferentes (sensitivas) y las eferentes

Modificado de Silverthorn (Silverthorn, 2008).

TABLA 2.6 Síntomas de lesión de la neurona motora superior

Síntoma	Descripción
Reflejo de Babinsky	Extensión del dedo gordo del pie cuando se efectúa un rascado profundo del borde lateral del pie
Parálisis espástica	Tono muscular elevado y reflejos de estiramientos hiperactivos; flexión de los brazos y extensión de las piernas
Hemiplejía	Parálisis de los miembros superior e inferior de un lado, debida generalmente a la lesión de las vías motoras, como ocurre con un accidente cerebrovascular o un ictus
Paraplejía	Parálisis de los miembros inferiores como consecuencia de una lesión en los niveles inferiores de la médula espinal
Tetraplejía	Parálisis de los miembros superiores e inferiores debido a una lesión en la parte superior de la médula espinal
Corea	Contracciones incontroladas de diferentes grupos musculares debido a una lesión de los núcleos basales
Temblor de reposo	Agitación de los miembros en reposo que desaparece con los movimientos voluntarios, por lesión en los núcleos basales
Temblor de intención	Oscilaciones del brazo con los movimientos voluntarios de alcance. Se debe a una lesión del cerebelo

Modificado de Fox (2008).

Como sabemos, el **cerebelo** recibe información sensitiva desde distintas zonas para luego integrarla. En el caso que nos ocupa recibirá información de los husos musculares, de los OTG, y de la sensación visual, auditiva y vestibular. En el núcleo no se generan vías descendentes y su control es siempre indirecto a través de conexiones con los núcleos vestibulares, el núcleo rojo y los núcleos basales que, por sus correspondientes vías descendentes, actuarán sobre las neuronas motoras espinales. Como en el caso de las vías extrapiramidales, la acción siempre será inhibitoria, lo que permitirá controlar y coordinar los movimientos según las necesidades en las que se estén desarrollando.

Los **núcleos o ganglios basales** ejercen una intensa actividad sobre las neuronas motoras inferiores, de manera que las lesiones de estas regiones provocan acinesia y corea (Bostan y Strick, 2010; Borsook et al, 2010; Chackavarthy et al, 2010; Villablanca, 2010). En la tabla 2.6 se expone un resumen de los síntomas que pueden aparecer cuando se lesionan neuronas motoras superiores.

BASES FISIOLÓGICAS DE LA RESPUESTA INFLAMATORIA

A pesar de que el término *inflamación* se usa de manera amplia en el ámbito de las ciencias de la salud, en muchas ocasiones no está claramente definido y el colectivo sanitario no tiene claro de si se trata de un proceso *beneficioso* o *perjudicial* (Toumi y Best, 2003). El abordaje del estudio de la inflamación debe realizarse en cuatro niveles: el clínico, el fisiológico, el celular y el molecular (fig. 2.18, v. Presentación contenido online). Una determinada lesión puede presentarse en uno o varios niveles y, por tanto, el razonamiento clínico y la investigación requieren de la habilidad para definir cuál es relevante (Scott et al, 2004).

Cuando ocurre un daño tisular provocado por una infección, por un traumatismo, por agentes químicos, por calor o por cualquier otro fenómeno, los tejidos lesionados liberan una gran cantidad de sustancias que producen cambios secundarios en los tejidos sanos

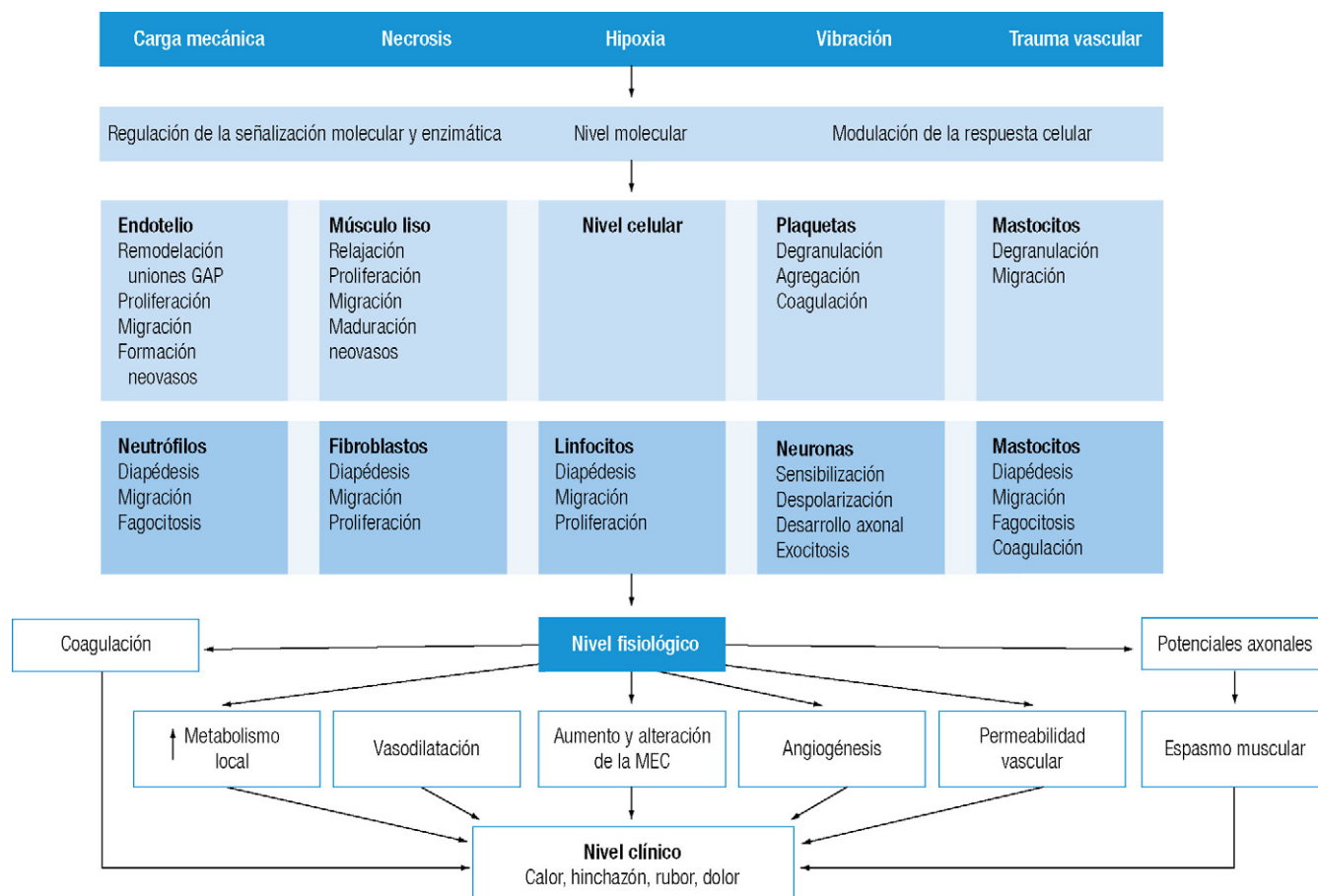


FIGURA 2.18 Niveles implicados en el proceso inflamatorio.

próximos. En conjunto, a todos estos fenómenos de respuestas celulares y vasculares frente al daño tisular o la infección que acelera la destrucción y retirada de los organismos invasores y los restos de tejido y células dañadas se les denomina *inflamación* (McGeown, 2007). Es una reacción característica de la inmunidad innata: después de las barreras físicas y químicas de defensa, el organismo responde con una segunda línea de forma inespecífica a través de los leucocitos, que siempre responden de manera similar cuando identifican a algún agente extraño y lo eliminan o contienen hasta que se active la inmunidad adquirida (Clot, 2003; Kitchen y Crash, 2007).

La inflamación se caracterizará por: *a)* una vasodilatación local, con el consiguiente exceso de flujo sanguíneo local; *b)* el incremento de la permeabilidad capilar y, por tanto, el flujo de grandes cantidades de fluido a los espacios intersticiales; *c)* a menudo, la coagulación del fluido en el espacio intersticial debido a las grandes cantidades de fibrinógeno y otras proteínas que se han filtrado desde los capilares, y *d)* la migración de un gran número de granulocitos y monocitos hacia los tejidos (Guyton y Hall, 2011).

En sentido amplio, se habla de una *fase inflamatoria aguda* o temprana que tiene una duración, entre 24 y 48 horas, seguida de una *fase subaguda* o tardía que oscila entre 10 y 14 días. La fase subaguda puede alargarse si persiste el agente originador de la inflamación (Kitchen y Young, 2009).

Suele establecerse que la reacción inflamatoria tiene tres objetivos: *a)* atraer a las células del sistema inmune y los mediadores químicos o *citocinas* al lugar de la lesión; *b)* establecer una barrera física para retardar la aparición de la infección o de la lesión en los tejidos circundantes, y *c)* favorecer la reparación tisular una vez que el proceso lesional ha sido controlado.

La reacción inflamatoria comienza cuando los macrófagos tisulares son activados y liberan citocinas que actúan a modo de balizas marcadoras, de forma que otras células inmunitarias son atraídas hacia la zona, aumentan la permeabilidad capilar (ésta es una de las razones por las que se produce la hinchazón de la zona lesionada) y son capaces de inducir fiebre (en el caso de infecciones). Las células atraídas por las citocinas liberadas por los macrófagos producen, a su vez, otras citocinas. El proceso se vuelve complejo dada la gran cantidad de mediadores químicos participantes (Eliaou, 2002; Peltier, 1996; Gallart y Vives, 1996; Zocchi y Rubartelli, 2001).

Las citocinas son mediadores solubles de tipo polipeptídico o glucoproteico que ejercen su función al actuar sobre receptores específicos de membrana y contribuyen a la regulación de la activación de los leucocitos, así como de la apoptosis (muerte celular programada). La síntesis y acción de las citocinas no se limita al sistema inmunitario, también puede regular la función de las células de otros órganos y tejidos.

Las citocinas presentan una serie de características funcionales comunes:

1. Su secreción es breve y autolimitada, en general no se almacenan en la célula y su síntesis se inicia por una nueva transcripción génica de corta duración.
2. El radio de acción es corto y, por tanto, tienen una acción autocrina o paracrina.
3. Producen sus efectos tras la unión a receptores específicos de alta afinidad para alterar los patrones de expresión génica de la célula diana.
4. Es frecuente que una citocina influya sobre otra y se establezcan cascadas y bucles de retroalimentación inhibidores o activadores de otras citocinas.

RESPUESTA INFLAMATORIA Y FAGOCITOSIS

Los macrófagos tisulares cercanos a la zona donde se produce la infección o la lesión se movilizan y se vuelven fagocíticamente activos (fig. 2.19, v. Presentación contenido online). Las sustancias químicas liberadas por los agentes patógenos o por los tejidos lesionados (*quimiotaxinas* o *quimiocinas*) actúan como atractores de estas células y dirigen sus movimientos hacia la zona dañada por un proceso denominado *quimiotaxis*. Los macrófagos locales se refuerzan

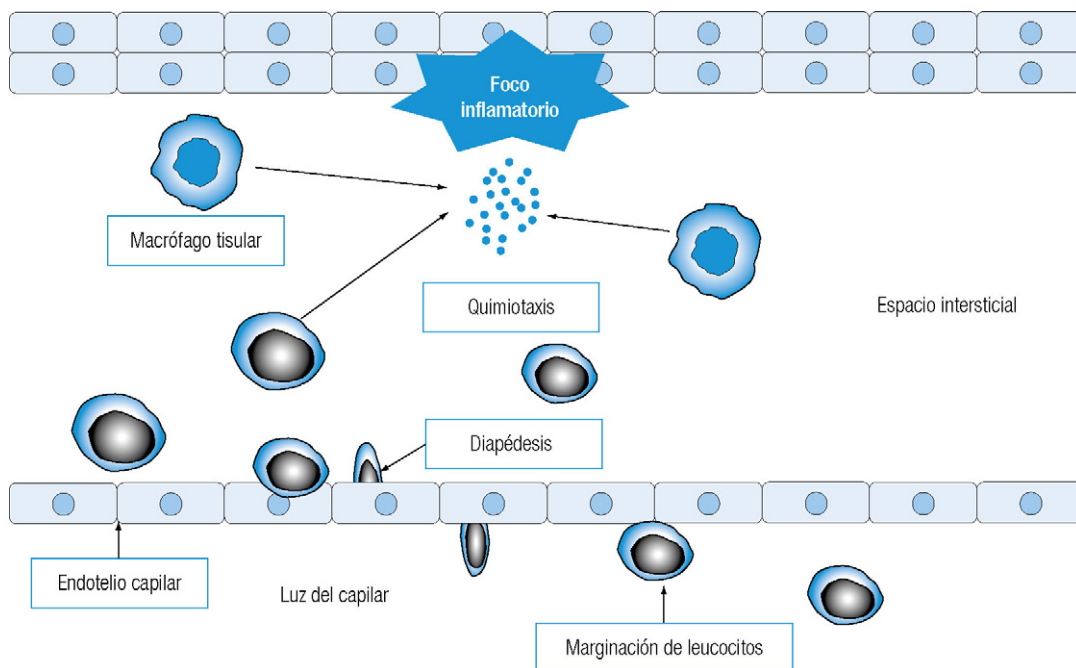


FIGURA 2.19 Inflamación local: diapédesis y quimiotaxis.

con la llegada desde el torrente circulatorio de neutrófilos (un tipo de leucocito de tipo granulocito) y monocitos. Estas células, en primer lugar, deben adherirse a la pared interna de los vasos sanguíneos del área afectada por un mecanismo denominado *marginación leucocitaria* y, posteriormente, se deforman hasta colarse por los espacios existentes entre las células endoteliales de los vasos sanguíneos mediante movimientos ameboides. Esta salida desde la luz de los vasos sanguíneos hacia el espacio extracelular recibe el nombre de *diapédesis*. Las interacciones de los leucocitos con el endotelio vascular determinan la intervención de moléculas de adhesión (selectinas e integrinas) y factores quimiotáxicos que favorecen el rodamiento de los leucocitos sobre el endotelio y los fenómenos de activación, adherencia y penetración en los tejidos (Clot, 2003; Scott et al, 2004; Lodish et al, 2005; Alberts et al, 2008).

Si ha existido una rotura de vasos sanguíneos se producirá una extravasación de los elementos de la sangre hacia la zona lesional, lo que aumentará aún más la acumulación de elementos en el espacio extracelular (Chatzinicolaou et al, 2010; Palmblad, 2010).

En resumen, en esta primera fase se produce una activación en cascada de numerosas proteínas implicadas en la coagulación, el complemento, la fibrinólisis y las cininas, que en conjunto producen un aumento de la permeabilidad vascular, la atracción y activación de los neutrófilos y macrófagos, y los signos clínicos de la inflamación descritos por Celso en el siglo 40 a.C.: rubor, calor, dolor y tumor (Peltier, 1996; Clot, 2003; Fox, 2008).

LIBERACIÓN DE PROTEÍNAS DE FASE AGUDA

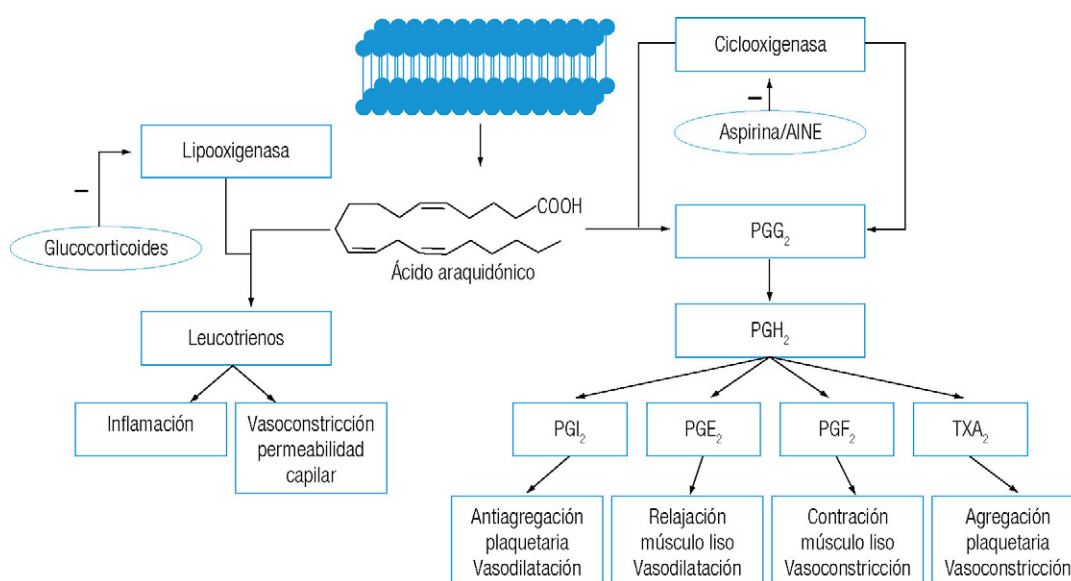
Ya se ha mencionado que la agregación leucocitaria en la zona de inflamación se ve aumentada por un incremento en el flujo sanguíneo debido a la vasodilatación local de los vasos sanguíneos que facilitarán la diapédesis. Estos cambios vasculares son estimulados por una serie de sustancias vasodilatadoras en los tejidos dañados.

Durante la **fase aguda**, el organismo responde aumentando la concentración de una serie de proteínas plasmáticas que reciben el nombre genérico de *proteínas de fase aguda* que incluyen moléculas que actúan como *opsoninas* (coadyuvantes de la fagocitosis), *moléculas antiproteasas*, que ayudan a evitar el daño tisular, y la *proteína C reactiva* (PCR). Las concentraciones de estas proteínas van disminuyendo hasta la normalidad a medida que la respuesta inmunitaria avanza, pero en las enfermedades inflamatorias **crónicas** pueden persistir las concentraciones elevadas de estas proteínas de fase aguda. A continuación se resumen algunos de los agentes más importantes implicados en el proceso inflamatorio (tabla 2.7):

1. La **histamina**, que se encuentra almacenada en los gránulos de los mastocitos (o células cebadas) y los basófilos (un tipo de leucocitos), es la molécula que activa la respuesta inflamatoria, puesto que promueve la llegada de otras moléculas a las zonas de lesión (Barrett, 1992; Falus y Meretey, 1992).
La histamina posee un importante efecto vasodilatador local, lo que ocasiona que se produzca una salida de proteínas plasmáticas al espacio intersticial con los consiguientes *edema* e *hinchazón*. Se produce también un aumento del flujo sanguíneo a la zona con el resultado de un área tumefacta, roja y caliente (Silbernagl y Despopoulos, 2007; Silvert-horn, 2008).
2. Las **cininas** constituyen un grupo de proteínas plasmáticas inactivas que se activan a través de una cascada de enzimas proteolíticas denominada *sistema cinina-calicreína*, que produce finalmente cininas vasoactivas, especialmente la **bradisinina**. Esta cinina tiene los mismos efectos vasodilatadores que la histamina y, además, estimula los receptores del *dolor*, responsable de la sensibilidad a la palpación asociada con la inflamación (Uneo y Oh-Ishi, 2003; Moreau et al, 2005; Bader, 2009).
3. Los **eicosanoides** son moléculas derivadas de ácidos grasos de 20 carbonos. Es especialmente importante el *ácido araquidónico* (fig. 2.20, v. Presentación contenido online), que constituye una gran familia de mediadores celulares con diferentes funciones, en muchas ocasiones antagónicas. En este grupo se incluyen las *prostaglandinas* y los *tromboxanos*, que

TABLA 2.7 Resumen de sustancias implicadas en la respuesta inflamatoria y su función

Sustancia	Función
Bradicinina	Estimula los receptores de dolor, vasodilatación
Cininas	Proteínas plasmáticas que se activan para formar bradicinina
Citocinas	Proteínas liberadas por una célula que afectan al crecimiento o actividad de otra célula
Complemento	Proteínas de la membrana plasmática y la membrana celular que actúan como opsoninas, agentes citolíticos y mediadores de la inflamación
Histamina	Vasodilatador y broncoconstrictor liberado por los mastocitos y los basófilos
Interleucina-1	Citocina de los macrófagos que media la respuesta de los macrófagos e induce fiebre
Opsoninas	Proteínas que recubren a los patógenos para que los fagocitos los reconozcan y fagociten: son anticuerpos, proteínas de la fase aguda y proteínas del complemento
Proteína C-reactiva	Proteína que activa la cascada del complemento
Proteínas de fase aguda	Proteínas del hígado, liberadas durante la fase aguda que actúan como opsoninas y aumentan la respuesta inflamatoria
Quimiotaxinas	Moléculas que atraen fagocitos hasta el lugar de infección o de lesión
Factores estimulantes de colonias de granulocitos y monocitos	Los macrófagos activados, las células endoteliales, los fibroblastos y los linfocitos producen factores estimulantes de colonias de monocitos y granulocitos (GM-CSF, G-CSF, M-CSF) que estimularán en la médula ósea la maduración de granulocitos, monocitos y macrófagos

**FIGURA 2.20** Síntesis de leucotrienos, prostaglandinas y tromboxanos.

pueden ser liberados casi por cualquier tipo celular, y los *leucotrienos*, que son más específicos de los leucocitos. Los fagocitos activados también estimulan la síntesis de prostaglandinas, que ampliarán el efecto de la inflamación. Muchos agentes farmacológicos, como los antiinflamatorios (por ejemplo, el ácido acetilsalicílico o los glucocorticoides) actúan inhibiendo alguno de los puntos en la cadena de síntesis o activación de las prostaglandinas (Peltier, 1996; McGeown y Loeb, 2006).

4. Las **interleucinas** son citocinas sintetizadas principalmente por los leucocitos, aunque de forma progresiva se van asociando a otros tipos celulares. En el proceso inflamatorio agudo están implicados principalmente la *interleucina-1* (IL-1), la *interleucina-6* (IL-6) y el *factor de necrosis tumoral α* (TNF- α). La IL-1 y el TNF- α tienen una acción directa; en muchas ocasiones actúan sinérgicamente y según la naturaleza de la célula diana pueden producir la activación de proteínas implicadas en la modificación del endotelio y vasodilatación locales, de proteasas de destrucción tisular, de moléculas de adhesión, de radicales libres oxigenados, de factores procoagulantes y, junto a la IL-6, pueden estimular la producción hepato-cítica de las proteínas de fase aguda (Heinrich et al, 1990; Bluethmann et al, 1994; Peltier, 1996; Batista et al, 2009; Kapoor et al, 2011).
5. Las **proteínas del complemento** son un conjunto de más de 25 proteínas plasmáticas y de la membrana celular. En la denominada *cascada del complemento* varios intermediarios actúan como *opsoninas*, que son moléculas que se unen a las células, a los microorganismos o a las partículas extrañas para facilitar su fagocitosis por parte de las células fagocíticas. La cascada del complemento finaliza con la formación de un complejo de ataque a la membrana en el que un grupo de proteínas liposolubles se insertan en las membranas celulares de los patógenos y células infectadas y forman poros; de esta forma penetran iones en la célula, a los que les sigue una entrada de agua con la consiguiente lisis celular (Gallart y Vives, 1996; García, 1996; Peltier, 1996; Gitler y Danon, 2003; Fox, 2008; Silverthorn, 2008; Guyton y Hall, 2011).

FASE DE REPARACIÓN DE LA LESIÓN

La reparación tisular supone la actividad integrada de las células, la matriz y los mediadores químicos con el objetivo final de restaurar la función del tejido lesionado (fig. 2.21, v. Presentación contenido online). Sea cual sea el origen del daño, los mecanismos de reparación comienzan cuando se produce una pérdida de comunicación entre células adyacentes y entre éstas y su matriz extracelular, o por muerte celular. El resultado final suele ser la formación de tejido cicatricial que, en algunos tejidos como la epidermis, el músculo esquelético o el tejido adiposo, puede ir acompañada de una regeneración limitada (Culav et al, 1999; Kitchen y Young, 2009).

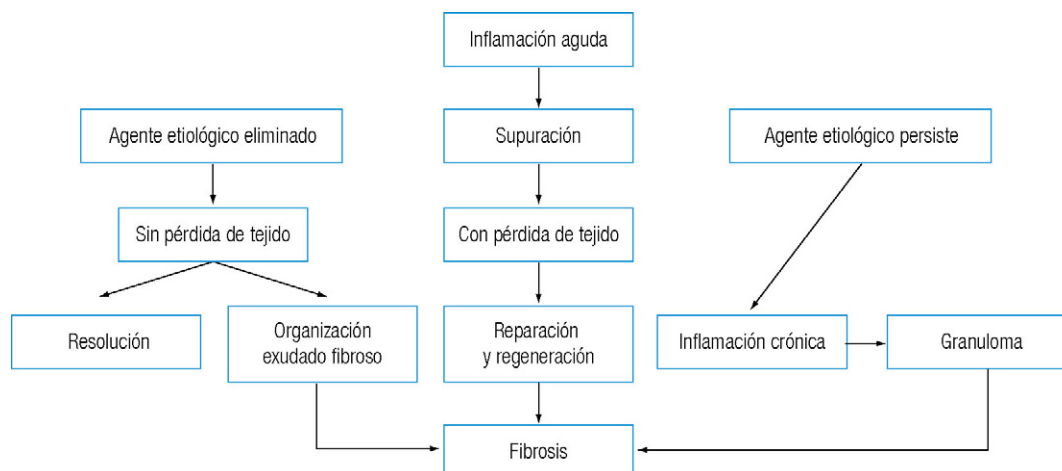


FIGURA 2.21 Proceso inflamatorio agudo y evolución.

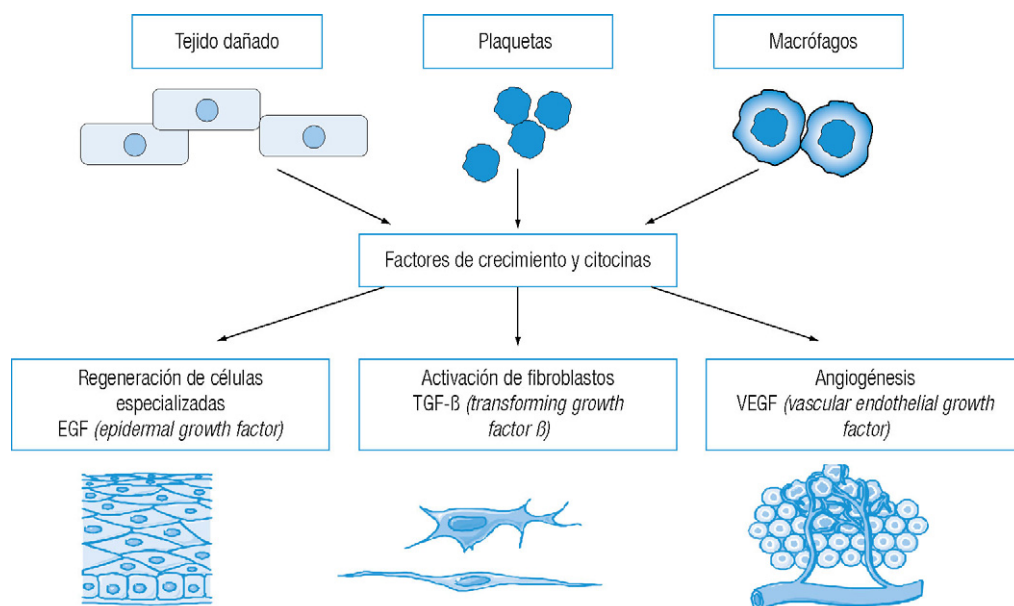


FIGURA 2.22 Reparación y regeneración tisular.

En condiciones normales, los fibroblastos se encargan de sintetizar los diferentes componentes de la matriz extracelular del tejido conjuntivo: colágeno, elastina, fibronectina, ácido hialurónico y proteoglicanos. En el proceso inflamatorio intervendrán en los fenómenos de reparación tisular (Culav et al, 1999; Pedraza y Martínez, 2008; Khan y Scott, 2009).

Los fibroblastos son atraídos por quimiotaxis al foco inflamatorio respondiendo tanto a las citocinas como a las proteínas o restos de las mismas presentes en la matriz extracelular, como el colágeno, la elastina y la fibronectina. Parece que el ácido hialurónico producido desde el principio de los fenómenos de reparación ayuda a la migración de los fibroblastos, mientras que la fibronectina favorecería la proliferación y la adhesión de los fibroblastos (Peltier, 1996).

La regeneración tisular involucra a dos mecanismos: la proliferación de las células supervivientes para reemplazar el tejido perdido y la migración de células supervivientes al espacio dejado por el tejido perdido (Reid y Roberts, 2005; Yun et al, 2010; Otto y Wright, 2011). Los factores que controlan el proceso de curación y reparación son complejos y en ellos se incluyen la producción de una gran variedad de factores de crecimiento (fig. 2.22, v. Presentación contenido online).

Cuando las células especializadas del tejido dañado no pueden regenerarse o lo hacen de una forma reducida, el espacio debe ser rellenado con tejido fibrótico. Los fibrocitos y los fibroblastos situados alrededor de los capilares y en los tejidos conectivos perdidos se activan estimulados por el TGF- β (transforming growth factor β) y comienzan una síntesis activa de proteínas, que pueden dividirse en dos grandes grupos: 1) Las proteínas colágenas (en especial colágeno tipos I y III), que requerirán la hidroxilación de los aminoácidos prolina y lisina, para lo que es esencial la presencia de vitamina C. La formación de las hélices de procolágeno finalizará cuando se hayan secretado al espacio intersticial y se establezcan los puentes cruzados con lo que concluirá la polimerización del colágeno. 2) El segundo grupo de proteínas son glucoproteínas adhesivas (fibronectina y ácido hialurónico) que facilitan la contracción de la cicatriz y contribuyen al progreso del proceso de reparación (Lozano et al, 2005; Nelson y Cox, 2005; Reid y Roberts, 2005; Newsholme y Leech, 2010).

A medida que la matriz extracelular inicial madura, ocurren una serie de cambios: la cantidad de ácido hialurónico y de fibronectina se reduce gradualmente, el colágeno tipo I se vuelve predominante y comienza el depósito de proteoglicanos (Culav et al, 1999; Kitchen y Young, 2009). Parece que el ácido hialurónico está presente sólo en las fases

TABLA 2.8 Citocinas que controlan la producción de colágeno

Table with 2 columns: Acción sobre la síntesis de colágeno, Citocina. Rows include Estímulan (+) with TGF-β, IL-1, and TNF; and Inhiben (-) with Interferones, TNF-α, and PGE2.

Modificada de Kitchen y Young (2009).

tempranas de la curación, y facilita la movilidad celular y la proliferación de fibroblastos (Adams, 1997; Chen y Abatangelo, 1999; Adams, 2004); la fibronectina serviría de estímulo para la movilidad de los fibroblastos y las células endoteliales implicadas en la angiogénesis (Clark, 1990; Valenick et al, 2005; Midwood et al, 2006). Por último, los proteoglucanos contribuirían a aumentar la resistencia tisular y a la regulación de la movilidad y crecimiento celular, así como al incremento del depósito de colágeno (McGrath y Eady, 1997; Nimni, 1983; Clark, 1985; Braum y Arpey, 2005).

Un aspecto importante en la reparación tisular es la regulación del equilibrio en la síntesis de proteínas de la matriz extracelular, en especial del colágeno (tabla 2.8). El colágeno depositado en un primer momento es de tipo embrionario (tipo III) que progresivamente se sustituye por colágeno de tipo I. El colágeno de tipo IV se sintetiza como parte de la membrana basal cuando ocurre una lesión en la piel, y el tipo V se deposita alrededor de las células formando un soporte estructural (Kitchen y Young, 2009). La tasa de síntesis de colágeno será regulada por la presencia de citocinas estimulantes e inhibitorias (Molloy et al, 2003; Farahani y Kloth, 2008) y por la propia interacción celular con la matriz extracelular.

El proceso de reparación tisular no podría completarse sin la angiogénesis, esto es, la generación de nuevos vasos sanguíneos en la zona lesionada (fig. 2.23, v. Presentación contenido online). Las células endoteliales migran hacia el estímulo atraídas por los correspondientes factores de crecimiento, en especial el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), de forma que el aporte de sangre esté asegurado en la zona lesionada. A medida que el tejido cicatricial entra en la fase de maduración final, se produce una retirada progresiva de parte de esta vascularización (Arnold y West, 1991; Cho et al, 2011; Itoh y Itoh, 2011).

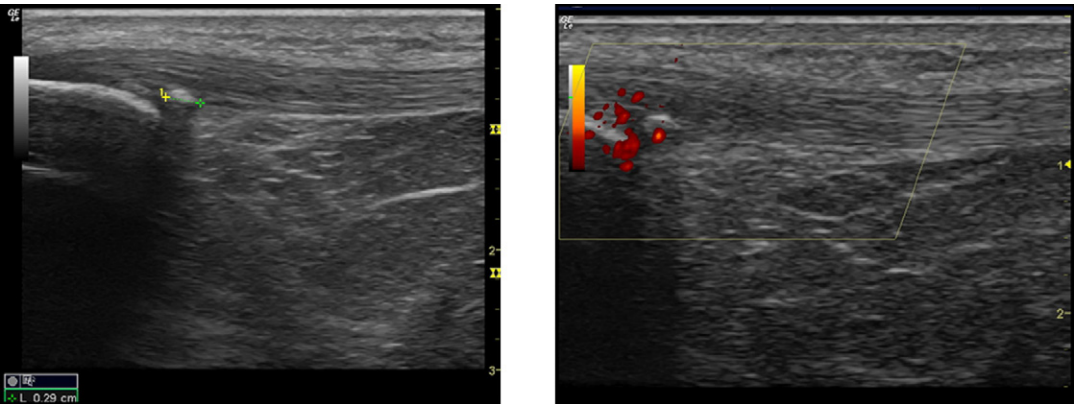


FIGURA 2.23 Ecografía de una tendinitis rotuliana.

BASES FISIOLÓGICAS DEL DOLOR

La actuación de los profesionales de la salud sobre los pacientes con dolor es uno de los retos más difíciles y a la vez más estimulantes y satisfactorios. El dolor, tal y como lo define la Asociación Internacional para el Estudio del Dolor, es «una experiencia sensorial y emocional desagradable asociada con un daño tisular actual o potencial o descrita en términos de tal daño» (IASP, 1979).

Este complejo fenómeno, que implica no sólo a la respuesta fisiológica sino también a una respuesta emocional e intelectual, es una experiencia profundamente personal (Husband, 2002). Además, la sensación dolorosa conduce al desarrollo de una serie de respuestas reflejas, tanto motoras (p. ej., el reflejo de retirada o la instauración de contracturas musculares) como vegetativas (aparición de sudor, escalofríos o náuseas), que forman parte de la sintomatología y que ayudan al diagnóstico clínico sobre el origen del proceso que las provoca (Córdova, 2003).

El dolor se clasifica habitualmente en términos de su duración; de esta forma se habla de *dolor agudo* cuando ocurre en un lapso de tiempo breve y de *dolor crónico* cuando el dolor dura más de 6 meses. El dolor agudo actúa como una alerta que nos hace conscientes de un daño corporal que ya se ha producido o que puede producirse, mientras que el dolor crónico ha perdido su carácter protector y suele tener efectos desastrosos sobre la calidad de vida del paciente.

ESTIMULACIÓN DE LOS NOCICEPTORES

Desde un punto de vista fisiológico, la percepción del dolor se encuadra dentro del sistema somatosensorial. Los nociceptores son los receptores del dolor que, a diferencia de otros receptores sensitivos, están formados por terminaciones nerviosas libres desplegadas en las capas superficiales de la piel y de los tejidos internos, como el periostio, las paredes arteriales o las superficies articulares. La mayoría de los tejidos profundos poseen un menor número de terminaciones nerviosas, aunque un daño tisular amplio en estas zonas puede causar un dolor de tipo crónico y sordo (Guyton y Hall, 2011). En este apartado nos referiremos al *dolor nociceptivo*, el ocasionado por un agente lesional, y dejaremos de lado el *dolor neuropático*, debido a una disfunción propia del sistema nervioso y que excede de los objetivos del capítulo (Husband, 2002; Nicholson, 2006).

A diferencia de otros tipos de sensaciones que son receptor-específicas, la sensación dolorosa puede producirse por múltiples tipos de estímulos, que pueden agruparse en estímulos *mecánicos*, estímulos *térmicos* y estímulos *químicos*. Por ejemplo, los canales de membrana denominados *receptores vanilloides* (canales de potencial transitorio del receptor V_1 o TRPV₁) responden al calor excesivo y también a la *capsaicina*, sustancia química responsable de la sensación de quemazón de los pimientos picantes (Carpenter y Lynn, 1981; LaMotte et al, 1992; Anand y Bley, 2011; Bode y Dong, 2011; Planells-Cases et al, 2011). Recientemente se ha caracterizado una proteína de membrana que responde tanto a los estímulos fríos como al mentol, lo que explicaría por qué los alimentos con sabor a menta se sienten como frescos (Reid y Flonta, 2002; Silbernagl y Despopopoulos, 2007; Silverthorn, 2008).

Los nociceptores suelen dividirse en dos tipos (tabla 2.9): nociceptores mecánicos y nociceptores polimodales. Los primeros se encuentran inervados por fibras nerviosas aferentes mielinizadas finas III o A δ y responden a estímulos mecánicos como pinchazos dolorosos producidos por objetos punzantes. Los nociceptores polimodales están inervados por fibras IV o C no mielinizadas, mucho más numerosas que las anteriores y que responden a estímulos mecánicos, térmicos y químicos (Córdova, 2003; Ganong, 2005; Dubin y Patapoutian, 2010; Guyton y Hall, 2011). Otra característica propia de los nociceptores es su nula o escasa adaptación al estímulo doloroso, de forma que para que cese la sensación dolorosa es condición necesaria, pero no suficiente, que desaparezca el estímulo que la ocasionó.

En una situación de normalidad, el umbral de respuesta de los nociceptores es elevado y son necesarios estímulos de gran intensidad para dañar el tejido y que se produzca la estimulación. Pero una lesión tisular, o una estimulación repetida, produce una disminución del umbral, lo que se traduce en una *sensibilización*, de manera que estímulos que no causaban

TABLA 2.9 Características de los receptores sensitivos

Tipo de receptor	Receptor	Localización	Fibra nerviosa	Adaptación
Mecanorreceptores	Crp. Pacini	Subcutánea, articulaciones, intramuscular	II o A β	Muy rápida
	Crp. Meissner	Piel sin vello	II o A β	Rápida
	Crp. Krause	Mucosa labial, párpados y genitales	II o A β	Rápida
	Folículos pilosos	Piel con vello	II o A β	Rápida
	Terminaciones nerviosas libres	Piel y mucosas	IV o C	Rápida
	Crp. Ruffini	Dermis y cápsulas articulares	II o A β	Lenta
	Rcpt. de Merkel	Piel no vellosa	II o A β	Lenta
	Discos táctiles	Piel con vello	II o A β	Lenta
	Rcpt. abovedado de Iggo	Piel sin vello	II o A β	Lenta
Propioceptores	Husos musculares	Muscular	Ia o A α	Lenta
	Órganos tendinosos de Golgi	Unión miotendinosa	II o A β	Lenta
Termorreceptores	Rcpt. de frío	Piel	III o A δ	Lenta
	Rcpt. de calor	Piel	IV o C	Lenta
Nociceptores	Nociceptores mecánicos	Piel	III o A δ	No adaptación o muy lenta
	Nociceptores polimodales	Piel y tejidos internos	IV o C	No adaptación o muy lenta

Crp.: corpúsculo; Rcpt.: receptor. Reproducida a partir de Córdova, Fox, Silverthorn y Guyton (Fox, 2008; Córdova, 2003; Guyton y Hall, 2011; Silverthorn, 2008).

dolor ahora sí lo hacen. Esta situación se denomina *hiperalgesia* y su aparición se debe a la liberación de sustancias por parte de los tejidos dañados, capaces de estimular a las terminaciones nerviosas libres (White y Wilson, 2008; Dubin y Patapoutian, 2010; Jankowski y Koerber, 2010; De Oliveira et al, 2011).

Por término medio, una persona comienza a percibir dolor cuando la temperatura en su piel supera los 45 °C y la sensación dolorosa estará estrechamente correlacionada con la tasa a la cual el daño tisular está ocurriendo y no con el daño total que ya ha ocurrido. La sensación dolorosa también está relacionada con la tasa de daño tisular provocado por otro tipo de causas como infecciones bacterianas, isquemia tisular o contusiones (Guyton y Hall, 2011).

DOLOR Y DAÑO TISULAR

Se ha mencionado antes que las sustancias liberadas localmente (quimiotaxinas) durante la lesión tisular estimulan a los nociceptores iniciando la sensación dolorosa (fig. 2.24, v. Presentación contenida online). El K^+ , la *histamina*, la *bradisinina* y las *prostaglandinas* liberadas por las células implicadas, la *serotonina* liberada por las plaquetas activadas, y la *sustancia P*, que es un neurotransmisor

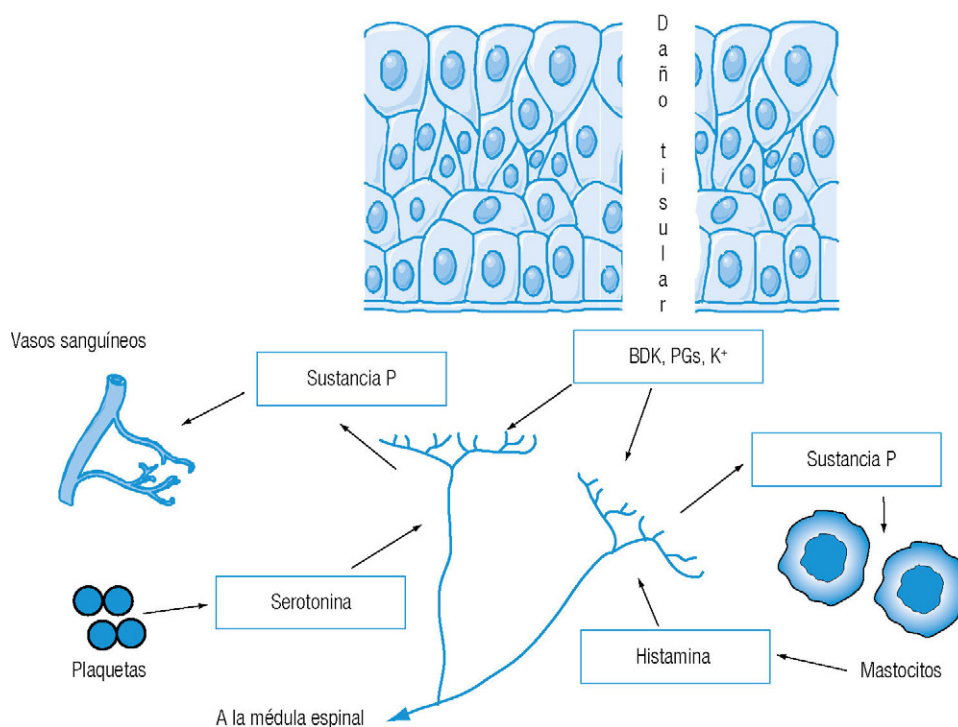


FIGURA 2.24 Estimulación de los nociceptores del daño tisular.

de 11 aminoácidos secretado por las neuronas sensitivas primarias (por los propios terminales sensitivos) (Husband, 2002; Silverthorn, 2008; White y Wilson, 2008) y que también regulará la respuesta inflamatoria (Henry, 1982; Jessell, 1981a y 1982b; Keen et al, 1982; Wood, 2009).

Puede ocurrir que el estímulo doloroso se produzca sin estar presente la lesión tisular pero exista la situación de isquemia tisular. Si se bloquea el flujo sanguíneo, el dolor aparece en unos pocos minutos y su intensidad aumenta con la tasa metabólica de los tejidos sometidos a isquemia; en consecuencia, una de las causas sugeridas es el aumento de los niveles de ácido láctico en los tejidos generado por el metabolismo anaeróbico, sin descartar que también puedan participar otras sustancias como la bradicinina o enzimas proteolíticas liberadas por las células dañadas (López y Fernández, 2006; McGeown, 2007; Guyton y Hall, 2011).

De forma similar, un espasmo muscular puede contribuir a la aparición de la sensación dolorosa, con un efecto directo de éste sobre las terminaciones nerviosas y con un efecto indirecto al reducirse el flujo sanguíneo a la zona. Además, el espasmo muscular provocará un aumento de la tasa metabólica del tejido muscular, que incrementará aún más la isquemia relativa y se crearán las condiciones ideales para la inducción de dolor por mediadores químicos.

DOBLE VÍA NERVIOSA DE TRANSMISIÓN DE LAS SEÑALES DOLOROSAS

Aunque todos los nociceptores están constituidos por terminaciones nerviosas libres, las señales dolorosas se transmiten hacia el sistema nervioso central (médula espinal) por *dos vías diferenciadas* que se corresponden con los *dos tipos de dolor*: vías de conducción del dolor rápido y agudo, y vías de conducción del dolor lento y crónico (Berne y Levy, 1992; Mulronei y Myers, 2001; Bowsher, 2005; Pocock y Richards, 2005; Silverthorn, 2008; Johnson, 2008; Schmeltz, 2011). En la tabla 2.9 se resumen algunas de las características de los receptores sensitivos y el tipo de fibras por el que se transmite su información a la médula espinal.

Como se ha visto, el dolor rápido y agudo puede provocarse tanto por estímulos mecánicos como térmicos, que en ambos casos se transmiten hacia la médula espinal por pequeñas fibras

mielinizadas de tipo A δ a velocidades comprendidas entre 6 y 30 m/s. Por el contrario, el dolor lento y crónico, que es provocado principalmente por estímulos químicos y, en ocasiones, por estímulos térmicos y mecánicos persistentes, se transmite hacia la médula espinal por fibras nerviosas no mielinizadas de tipo C a velocidades comprendidas entre 0,5 y 2 m/s.

Debido a este sistema doble de conducción nerviosa del dolor, un estímulo doloroso y repentino se transmitirá por las fibras A δ y por las fibras C. La sensación dolorosa que viaja por las fibras rápidas pondrá en marcha los mecanismos reflejos para la protección frente al estímulo doloroso (p. ej., el reflejo de retirada), mientras que la sensación dolorosa que se transmite por las fibras lentas será la responsable de mantener el dolor de forma continuada y la atención para su alivio.

Las fibras de esas dos vías realizan su entrada a la médula espinal por las raíces dorsales, donde nos encontramos también con dos sistemas para el procesamiento de las señales en su camino hacia el cerebro: la *vía neoespinotalámica* para el dolor rápido y la *vía paleoespinotalámica* para el dolor lento. Además, las neuronas nociceptoras primarias también pueden hacer sinapsis con interneuronas que controlan los reflejos de protección, por ejemplo, el reflejo de flexión homolateral y el de extensión contralateral (Tresguerres, 2005; Silbernagl y Despopoulos, 2007).

1. La **vía neoespinotalámica** está formada por tres neuronas en serie: las neuronas de primer orden conectan los receptores situados en cuello, tronco y extremidades con la médula y cuyos cuerpos celulares se encuentran en los ganglios de la raíz posterior de los nervios raquídeos. Los axones de estas neuronas establecen sinapsis sobre neuronas de segundo orden (liberando el neurotransmisor *glutamato*), situadas en las astas dorsales de la médula que se decusan por la comisura anterior y ascienden hacia el cerebro por las columnas anterolaterales. Unas pocas fibras terminan en las áreas reticulares del tronco encefálico, pero la mayoría llega hasta el tálamo sin interrupción, terminando en el complejo ventrobasal (junto con el tracto de la columna dorsal y lemnisco de las sensaciones táctiles). En el tálamo, las neuronas de segundo orden hacen sinapsis sobre neuronas de tercer orden que se proyectan sobre la corteza somatosensorial (Berne y Levy, 1992; Córdova, 2003; Hammond, 2008; Purves et al, 2011; Constanzo, 2011; Guyton y Hall, 2011).
2. En la **vía paleoespinotalámica** las señales dolorosas que viajan por fibras lentas encuentran sus neuronas de primer orden en el correspondiente ganglio de la raíz posterior. Desde ahí se envían fibras que realizan una sinapsis con neuronas situadas en las láminas II y III de las astas posteriores de la médula, que en conjunto se denomina *sustancia gelatinosa*. Probablemente, los neurotransmisores liberados en estas sinapsis sean tanto el *glutamato* (de acción instantánea y corta) como la *sustancia P* (de acción más lenta y duradera). A partir de la sustancia gelatinosa suelen establecerse varias sinapsis con interneuronas (denominadas células transmisoras o *células T*) antes de decusarse y ascender por las columnas anterolaterales, donde tienen lugar estaciones sinápticas en numerosas zonas del bulbo, protuberancia y mesencéfalo. La información procedente del mesencéfalo hace relevo, a través del núcleo intralaminar del tálamo, a áreas como el hipotálamo, el lóbulo frontal o el sistema límbico del cerebro; son estas áreas las que coordinan las respuestas autónomas, psicológicas y emocionales del dolor (Wood, 2009). Los estímulos dolorosos desde el área reticular del tronco del encéfalo se proyectan hacia el tálamo sin una disposición somatotópica, y desde allí, de una forma difusa, hasta el hipotálamo, motivo por el cual los pacientes tienen a menudo dificultades para localizar el origen en algunos tipos de dolor crónico (Berne y Levy, 1992; Córdova, 2003; Hammond, 2008; Constanzo, 2011; Guyton y Hall, 2011; Purves et al, 2011).

MODULACIÓN DEL DOLOR Y SISTEMAS DE SUPRESIÓN DEL DOLOR EN LA MÉDULA ESPINAL Y EL CEREBRO

La primera estación en la que es posible la modulación de la información nociceptiva es la médula espinal. Las aferencias nociceptoras de primer orden causan una sinapsis con neuronas de segundo orden, que son las que envían la información a los centros superiores.

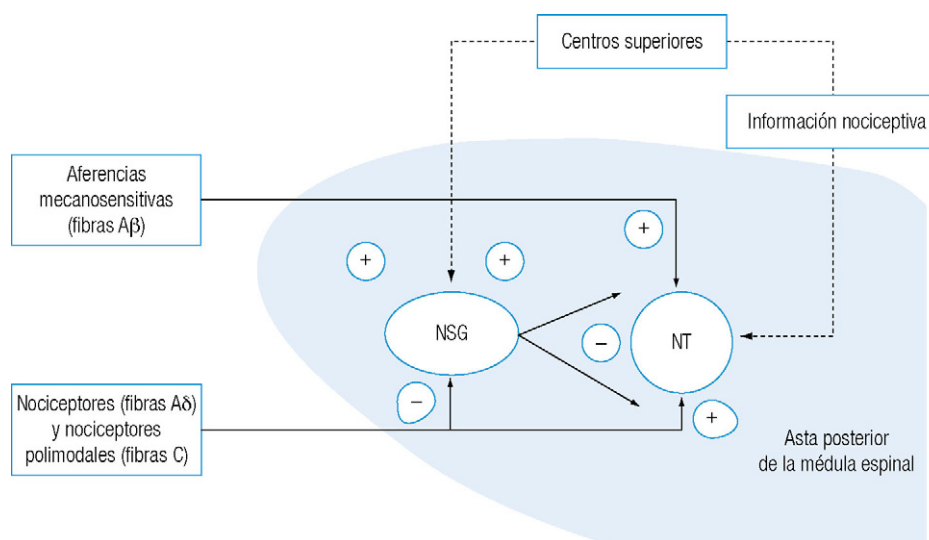


FIGURA 2.25 Modulación del dolor en la médula espinal.

La excitabilidad de estas vías puede alterarse por otras neuronas presentes en el asta posterior de la médula espinal. Hemos comentado que existe un grupo de neuronas situadas en una región de la médula denominada sustancia gelatinosa (NSG) que tienen un papel inhibitorio sobre las neuronas transmisoras. Las NSG tienen una inhibición tónica sobre las neuronas transmisoras, de forma que están inhibiendo continuamente la transmisión de información dolorosa hacia centros superiores (fig. 2.25, v. Presentación contenido online).

Las fibras C de los nociceptores hacen sinapsis con estas NSG, de manera que cuando las fibras C son activadas por un estímulo doloroso excitan simultáneamente la vía ascendente a través de las neuronas transmisoras y bloquean la inhibición tónica de las NSG, permitiendo que la información nociceptiva llegue a centros superiores (Ganong, 2005; Lodish et al, 2005; Wood, 2009).

Sin embargo, las NSG también se ven influidas por impulsos provenientes de aferencias mecanosensitivas de bajo umbral y gran diámetro (fibras de tipo Aβ) que establecen sinapsis excitatorias con las NSG, de forma que éstas aumentan su inhibición sobre las neuronas transmisoras.

Las NSG también reciben impulsos excitatorios (y, por tanto, inhibitorios del dolor) procedentes de centros superiores, lo que permite un control descendente de la excitabilidad de las células T. En consecuencia, del balance final de impulsos inhibitorios y excitatorios que reciban las células T dependerá que la información nociceptiva ascienda a centros superiores (fig. 2.25).

En esencia, este mecanismo de modulación del dolor en el nivel espinal es conocido como la **teoría del control de la compuerta** (*gate control theory*), propuesta en 1965 por Melzack y Wall, y en ella están basadas gran parte de las intervenciones fisioterapéuticas encaminadas a la analgesia (Melzack y Wall, 1965; Dennis y Melzack, 1977; Loeser y Melzack, 1999; Melzack, 1999; De Leo, 2006). En definitiva, cualquier intervención que active las aferencias mecanosensitivas de gran diámetro tiene el potencial para modular la transmisión del dolor en la médula espinal.

El masaje, la manipulación articular, las tracciones y compresiones, la estimulación térmica y la electroterapia pueden provocar impulsos sensoriales aferentes que «cierren la compuerta» de las vías que transmiten la información dolorosa hacia centros superiores (Husband, 2002; Bowsher, 2005; Johnson, 2008; Wood, 2009).

Los impulsos descendentes desde centros superiores a las células T también son importantes en la modulación dolorosa, excitando las neuronas inhibitorias de la sustancia gelatinosa (NSG), probablemente liberando noradrenalina y 5-hidroxitriptamina. La procedencia de estos impulsos se encuentra en la sustancia gris periacueductal (mesencéfalo) y del núcleo del rafe (bulbo raquídeo). La actividad de estos centros está normalmente inhibida por interneuronas de otras regiones cerebrales.

Desde el sistema límbico, que está implicado en las emociones y estados de ánimo, puede estimularse la producción (por neuronas situadas en distintas regiones del cerebro y de la médula) de *sustancias opioides endógenas*: las encefalinas, las endorfinas y las dinorfinas, que tienen en general un efecto excitatorio de las células de la sustancia gelatinosa, pero a través de un mecanismo indirecto: estos opiáceos inhiben a las interneuronas cerebrales que están normalmente inactivando los centros de la sustancia gris periacueductal y del núcleo de rafe que son excitadores de las NSG. Existen pruebas de que el efecto de estos opiáceos está más relacionado con la inhibición del dolor crónico que con el dolor de tipo agudo (Husband, 2002; Wood, 2009; Guyton y Hall, 2011).

El propio Melzack va más allá y nos habla de la *neuromatriz* como un sistema integrador del dolor en el que la experiencia dolorosa sería el resultado (*firma neural*, lo denomina) de patrones nerviosos contruidos por la influencia de múltiples entradas sensoriales (cutáneas, viscerales, somáticas, visuales), entradas cognitivas y emocionales, entradas intrínsecas de modulación inherentes a todas las funciones cerebrales y entradas relativas a la actividad de los sistemas de regulación del estrés del cuerpo (incluirla aquí a las citocinas y sistemas endocrino, autónomo e inmune). Esta visión está en consonancia con la visión multidimensional actual del proceso doloroso (Melzack, 1999).

DOLOR REFERIDO Y DOLOR VISCERAL

En ocasiones el dolor se percibe en una región que está alejada del tejido que está causando el dolor, este fenómeno se denomina **dolor referido**. Por ejemplo, si el paciente está sufriendo una angina de pecho, el órgano causante del dolor es el corazón, pero puede percibirse dolor en la región superior del pecho y en el hombro y brazo izquierdos; si el órgano afectado es el riñón, el dolor referido aparecerá en la región lumbar en los niveles L1-L2 y en la ingle.

El conocimiento de los diferentes tipos de dolor referido será de una gran ayuda en el diagnóstico clínico porque en muchas disfunciones viscerales el único signo clínico del que se dispondrá será dicho dolor.

El mecanismo probable del dolor referido es la convergencia en las neuronas transmisoras del asta posterior de la médula espinal de aferencias provenientes de una gran variedad de fuentes (vísceras, músculos, piel) que pertenecen a la misma metámera. Los centros superiores no podrán discernir de qué región proviene el dolor puesto que la información proviene de las mismas neuronas transmisoras (Ganong, 2005; Scalton y Saunders, 2007; Guyton y Hall, 2011).

En cuanto al **dolor visceral**, conviene recordar que difiere del dolor superficial en algunos aspectos. La distinción más importante es que lesiones importantes y localizadas en una víscera raramente van acompañadas de un dolor intenso. Por el contrario, algunos estímulos que causan estimulación difusa de las terminaciones dolorosas pueden traducirse en un dolor visceral intenso. Por ejemplo, la isquemia producida por la oclusión del flujo sanguíneo al intestino estimula algunas de las fibras difusas del dolor, pero produce al mismo tiempo un dolor extremo.

Bibliografía

- Adams JC. Characterization of cell-matrix adhesion requirements for the formation of fascin microspikes. *Mol Biol Cell* 1997;8(11):2345-63.
- Adams JC. Roles of fascin in cell adhesion and motility. *Curr Opin Cell Biol* 2004;16(5):590-6.
- Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. *Molecular biology of the cell* (5th ed.). New York: Taylor & Francis Group; 2008.
- Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Impaired calcium release during fatigue. *J Appl Physiol* 2008;104(1):296-305.
- Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2008;88(1):287-332.
- Allen DG, Westerblad H. Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *J Physiol* 2001;536(Pt 3):657-65.
- Allen JD, Mattacola CG, Perrin DH. Effect of microcurrent stimulation on delayed-onset muscle soreness: a double-blind comparison. *J Athl Train* 1999;34(4):334-7.

- Amer-Cuenca JJ. Programación y aplicación de la estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS): guía de práctica clínica basada en la evidencia. *Fisioterapia* 2010;32(6):271-8.
- Anand P, Bley K. Topical capsaicin for pain management: therapeutic potential and mechanisms of action of the new high-concentration capsaicin 8% patch. *Br J Anaesth* 2011;107(4):490-502.
- Antoine JC. Anatomía y fisiología del nervio periférico. *Encycl Méd Chir* 1999; E-14-024:1-4.
- Arnold F, West DC. Angiogenesis in wound healing. *Pharmacol Ther* 1991;52(3):407-22.
- Bader M. Kallikrein-kinin system in neovascularization. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2009;29(5):617-9.
- Barclay CJ, Loiselle DS. Can activation account for 80% of skeletal muscle energy use during isometric contraction? *Am J Physiol Cell Physiol* 2007;292(1):C612-4.
- Barrett KE. Complex cellular recognition events in acute inflammation. *Gastroenterology* 1992;103(5):1700-2.
- Basas García A. Metodología de la electroestimulación en el deporte. *Fisioterapia* 2001;23(Mong2):36-47.
- Batista ML, Jr., Lopes RD, Seelaender MC, Lopes AC. Anti-inflammatory effect of physical training in heart failure: role of TNF-alpha and IL-10. *Arq Bras Cardiol* 2009;93(6):643-700.
- Baum CL, Arpey CJ. Normal cutaneous wound healing: clinical correlation with cellular and molecular events. *Dermatol Surg* 2005;31(6):674-86.
- Becker WM, Kleinsmith LJ, Hardin J. *El mundo de la célula* (6.ª ed.). Madrid: Pearson Addison Wesley; 2007.
- Benarroch EE. Na⁺, K⁺-ATPase: functions in the nervous system and involvement in neurologic disease. *Neurology* 2011;76(3):287-93.
- Berg JM, Tymoczko JL, Stryer L. *Biochemistry* (5th ed.). New York: W.H. Freeman and Company; 2002.
- Berne RM, Levy MN. *Fisiología*. Barcelona: Mosby Year Book; 1992.
- Blomstrand E. Amino acids and central fatigue. *Amino Acids* 2001;20(1):25-34.
- Bluethmann H, Rothe J, Schultze N, Tkachuk M, Koebel P. Establishment of the role of IL-6 and TNF receptor 1 using gene knockout mice. *J Leukoc Biol* 1994;56(5):565-70.
- Bode AM, Dong Z. The two faces of capsaicin. *Cancer Res* 2011;71(8):2809-14.
- Borsook D, Upadhyay J, Chudler EH, Becerra L. A key role of the basal ganglia in pain and analgesia-insights gained through human functional imaging. *Mol Pain* 2010;6:27.
- Bostan AC, Strick PL. The cerebellum and basal ganglia are interconnected. *Neuropsychol Rev* 2010;20(3):261-70.
- Bowsher D. Mechanisms of acupuncture. In: Filshie J, White A (eds.). *Medical acupuncture: a Western scientific approach*. London: Elsevier; 2005. p. 69-82.
- Burd NA, Holwerda AM, Selby KC, West DW, Staples AW, Cain NE, et al. Resistance exercise volume affects myofibrillar protein synthesis and anabolic signalling molecule phosphorylation in young men. *J Physiol* 2010;588(Pt 16):3119-30.
- Burd NA, West DW, Staples AW, Atherton PJ, Baker JM, Moore DR, et al. Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. *PLoS One* 2010;5(8):e12033.
- Cairns SP, Lindinger MI. Do multiple ionic interactions contribute to skeletal muscle fatigue? *J Physiol* 2008;586(Pt 17):4039-54.
- Carnac G, Ricaud S, Vernus B, Bonniou A. Myostatin. biology and clinical relevance. *Mini Rev Med Chem* 2006;6(7):765-70.
- Carpenter SE, Lynn B. Vascular and sensory responses of human skin to mild injury after topical treatment with capsaicin. *Br J Pharmacol* 1981;73(3):755-8.
- Chakravarthy VS, Joseph D, Bapi RS. What do the basal ganglia do? A modeling perspective. *Biol Cybern* 2010;103(3):237-53.
- Chatzinikolaou A, Fatouros IG, Gourgoulis V, Avloniti A, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, et al. Time course of changes in performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise. *J Strength Cond Res* 2010;24(5):1389-98.
- Chen WY, Abatangelo G. Functions of hyaluronan in wound repair. *Wound Repair Regen* 1999;7(2):79-89.
- Cho H, Balaji S, Sheikh AQ, Hurley JR, Tian YF, Collier JH, et al. Regulation of endothelial cell activation and angiogenesis by injectable peptide nanofibers. *Acta Biomater* 2011 Sep 6. [Epub ahead of print].
- Clark RA. Cutaneous tissue repair: basic biologic considerations. I. *J Am Acad Dermatol* 1985;13(5 Pt 1):701-25.
- Clark RA. Fibronectin matrix deposition and fibronectin receptor expression in healing and normal skin. *J Invest Dermatol* 1990;94(6 Suppl):128S-34S.
- Clot J. Introducción a la inmunología. *Encycl Méd Chir* 2003; E-14-039:1-8.
- Connolly CN. Molecular biology of the neuron. In: Davis RW, Morris BJ, editors. *Molecular biology of the neuron*. (2th ed.). Oxford: Oxford University Press; 2004. p. 75-101.
- Constanzo LS. *Fisiología* (4.ª ed.). Barcelona: Elsevier Saunders; 2011.
- Córdova A. *Fisiología dinámica*. Barcelona: Masson; 2003.
- Costa RA, Oliveira LM, Watanabe SH, Jones A, Natour J. Isokinetic assessment of the hip muscles in patients with osteoarthritis of the knee. *Clinics (Sao Paulo)* 2010;65(12):1253-9.
- Crameri RM, Aagaard P, Qvortrup K, Langberg H, Olesen J, Kjaer M. Myofibre damage in human skeletal muscle: effects of electrical stimulation versus voluntary contraction. *J Physiol* 2007;583(Pt 1):365-80.
- Cramp M, Scott O. Activación nerviosa sensitiva y motora. En: Watson T (ed.). *Electroterapia. Práctica basada en la evidencia*. (12.ª ed.) Barcelona: Elsevier; 2009. p. 67-84.
- Cronin NJ, Ishikawa M, Grey MJ, Af KR, Komi PV, Avela J, et al. Mechanical and neural stretch responses of the human soleus muscle at different walking speeds. *J Physiol* 2009;587(Pt 13):3375-82.
- Culav EM, Clark CH, Merrilees MJ. Connective tissues: matrix composition and its relevance to physical therapy. *Phys Ther* 1999;79(3):308-18.
- Dalsgaard MK, Secher NH. The brain at work: a cerebral metabolic manifestation of central fatigue? *J Neurosci Res* 2007;85(15):3334-9.

- Davis RW, Morris BJ. Molecular biology of the neuron (2th ed.). Oxford: Oxford University Press; 2004.
- De Oliveira CM, Sakata RK, Issy AM, Gerola LR, Salomao R. Cytokines and pain. *Rev Bras Anesthesiol* 2011; 61(2):137,255-5.
- DeLeo JA. Basic science of pain. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88(Suppl 2):58-62.
- Denis JC, Lacour JR. Músculo normal. *Encycl Méd Chir* 1998;14-027:1-12.
- Dennis SG, Melzack R. Pain-signalling systems in the dorsal and ventral spinal cord. *Pain* 1977;4(2):97-132.
- Dubin AE, Patapoutian A. Nociceptors. the sensors of the pain pathway. *J Clin Invest* 2010;120(11):3760-72.
- Edman KA, Josephson RK. Determinants of force rise time during isometric contraction of frog muscle fibres. *J Physiol* 2007;580(Pt. 3):1007-19.
- Eliaou JF. Región HLA y patologías osteoarticulares. *Encycl Méd Chir*. 2002;E-14-045:1-10.
- Enoka RM, Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol* 2008;586(1): 11-23.
- Ernst E. Does post-exercise massage treatment reduce delayed onset muscle soreness? A systematic review. *Br J Sports Med* 1998;32(3):212-4.
- Falus A, Meretey K. Histamine. an early messenger in inflammatory and immune reactions. *Immunol Today* 1992;13(5):154-6.
- Farahani RM, Kloth LC. The hypothesis of "biophysical matrix contraction": wound contraction revisited. *Int Wound J* 2008;5(3):477-82.
- Favero TG. Sarcoplasmic reticulum Ca^{2+} release and muscle fatigue. *J Appl Physiol* 1999;87(2):471-83.
- Fox SI. Fisiología humana (10.ª ed.). Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana; 2008.
- Gallart T, Vives J. Interleucinas y otras citocinas. En: Farreras P, Rozman C (eds.). *Medicina interna*. (13.ª ed.) Barcelona: Mosby-Doyma Libros; 1996. p. 2710-5.
- Gandevia SC, Allen GM, McKenzie DK. Central fatigue. Critical issues, quantification and practical implications. *Adv Exp Med Biol* 1995;384:281-94.
- Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev* 2001;81(4):1725-89.
- Ganong WF. Review of medical physiology (22th ed.). New York: McGraw-Hill; 2005.
- García Sáinz JA. Hormonas. mensajeros químicos y comunicación celular (2.ª ed.). México D.F: Fondo de Cultura Económica; 1996.
- Gartner LP, Hiatt JL. Texto de atlas de histología (2.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill; 2002.
- Gauthier GF, Lowey S. Distribution of myosin isoenzymes among skeletal muscle fiber types. *J Cell Biol* 1979;81(1):10-25.
- Gauthier GF. Ultrastructural identification of muscle fiber types by immunocytochemistry. *J Cell Biol* 1979;82(2):391-400.
- Geiger B, Bershadsky A, Pankov R, Yamada KM. Transmembrane crosstalk between the extracellular matrix-cytoskeleton crosstalk. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2001;2(11):793-805.
- Geiger B, Yamada KM. Molecular architecture and function of matrix adhesions. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 2011;3(5).
- Gitler C, Danon A. Cellular implications of redox signaling. London: Imperial College Press; 2003.
- Goldstein LS, Yang Z. Microtubule-based transport systems in neurons: the roles of kinesins and dyneins. *Annu Rev Neurosci* 2000;23:39-71.
- Gordon T, Mao J. Muscle atrophy and procedures for training after spinal cord injury. *Phys Ther* 1994;74(1):50-60.
- Gosselin LE, Adams C, Cotter TA, McCormick RJ, Thomas DP. Effect of exercise training on passive stiffness in locomotor skeletal muscle: role of extracellular matrix. *J Appl Physiol* 1998;85(3):1011-6.
- Guyton MD, Hall JE. Textbook of medical physiology (12th ed.). Philadelphia: Elsevier Saunders; 2011.
- Hamill OP. A new stretch for muscle spindle research. *J Physiol* 2010;588(Pt 4):551-2.
- Hammond C. Cellular and molecular neurophysiology (3th ed.). London: Academic Press Elsevier; 2008.
- Heinrich PC, Castell JV, Andus T. Interleukin-6 and the acute phase response. *Biochem J* 1990;265(3):621-36.
- Hendricks HB, Aberle ED, Jones DJ, Martin TG. Muscle fiber type, rigor development and bone strength in double muscled cattle. *J Anim Sci* 1973;37(6):1305-11.
- Henry JL. Relation of substance P to pain transmission: neurophysiological evidence. *Ciba Found Symp* 1982;(91):206-24.
- Hilbert JE, Sforzo GA, Swensen T. The effects of massage on delayed onset muscle soreness. *Br J Sports Med* 2003;37(1):72-5.
- Hintz CS, Coyle EF, Kaiser KK, Chi MM, Lowry OH. Comparison of muscle fiber typing by quantitative enzyme assays and by myosin ATPase staining. *J Histochem Cytochem* 1984;32(6):655-60.
- Hunter SK, Enoka RM. Changes in muscle activation can prolong the endurance time of a submaximal isometric contraction in humans. *J Appl Physiol* 2003;94(1):108-18.
- Hunter SK. Sex differences and mechanisms of task-specific muscle fatigue. *Exerc Sport Sci Rev* 2009;37(3):113-22.
- Husband L. Caring for the person with pain. In: Kenworthy N, Snowley G, Gilling CM (eds.). *Common foundation studies in Nursing*. (3th ed.) London: Elsevier; 2002. p. 451-81.
- Ingber DE. Integrins, tensegrity, and mechanotransduction. *Gravit Space Biol Bull* 1997;10(2):49-55.
- Ingber DE. Tensegrity and mechanotransduction. *J Body Mov Ther* 2008;12(3):198-200.
- Ingber DE. Tensegrity-based mechanosensing from macro to micro. *Prog Biophys Mol Biol* 2008b;97(2-3):163-79.
- Ingber DE. The architecture of life. *Sci Am* 1998;278(1):48-57.
- Ingber DE. The origin of cellular life. *Bioessays* 2000;22(12):1160-70.
- International Association for the Study of Pain (IASP). Pain Terminology. *Pain* 1979;6:249-52.
- Iqbal K, Roy A. A novel theoretical framework for the dynamic stability analysis, movement control, and trajectory generation in a multisegment biomechanical model. *J Biomech Eng* 2009;131(1):011002.
- Itoh S, Itoh F. Inhibitory machinery for the TGF-beta family signaling pathway. *Growth Factors* 2011;29(5):163-73.

- Jankowski MP, Koerber HR. Neurotrophic factors and nociceptor sensitization. In: Kruger L, Light AR (eds.). *Translational pain research: from mouse to man*. Boca Raton (Florida): CRC Press; 2010.
- Jessell TM. Substance P in nociceptive sensory neurons. *Ciba Found Symp* 1982;(91):225-48.
- Jessell TM. The role of substance P in sensory transmission and pain perception. *Adv Biochem Psychopharmacol* 1981;28:189-98.
- Johnson M. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). En: Watson T (ed.). *Edinburg: Churchill Livingstone*; 2008. p. 253-86.
- Junqueira LC, Carneiro J. *Histología básica*. Barcelona: Masson; 2005.
- Kapoor M, Martel-Pelletier J, Lajeunesse D, Pelletier JP, Fahmi H. Role of proinflammatory cytokines in the pathophysiology of osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol* 2011;7(1):33-42.
- Keen P, Harmar AJ, Spears F, Winter E. Biosynthesis, axonal transport and turnover of neuronal substance P. *Ciba Found Symp* 1982;91:145-64.
- Khan KM, Scott A. Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair. *Br J Sports Med* 2009;43(4):247-52.
- Kitchen G. *Crash course: Immunology and hematology* (3rd ed.). New York: Mosby; 2007.
- Kitchen S, Young SR. Reparación tisular. En: Watson T (ed.). *Electroterapia. Práctica basada en la evidencia* (12.ª ed.). Barcelona: Elsevier; 2009. p. 53-66.
- Kjaer M, Magnusson P, Krogsgaard M, Boysen MJ, Olesen J, Heinemeier K, et al. Extracellular matrix adaptation of tendon and skeletal muscle to exercise. *J Anat* 2006;208(4):445-50.
- Kjaer M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiol Rev* 2004;84(2):649-98.
- Klossner S, Durieux AC, Freyssen D, Flueck M. Mechano-transduction to muscle protein synthesis is modulated by FAK. *Eur J Appl Physiol* 2009;106(3):389-98.
- Konishi T. Voltage-gated potassium currents in myelinating Schwann cells in the mouse. *J Physiol* 1990;431:123-39.
- LaMotte RH, Lundberg LE, Torebjork HE. Pain, hyperalgesia and activity in nociceptive C units in humans after intradermal injection of capsaicin. *J Physiol* 1992;448:749-64.
- LeBrasseur NK, Walsh K, Arany Z. Metabolic benefits of resistance training and fast glycolytic skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2011;300(1):E3-10.
- Lee SJ. Regulation of muscle mass by myostatin. *Annu Rev Cell Dev Biol* 2004;20:61-86.
- Linares M, Escalante K, Touche RL. Revisión bibliográfica de las corrientes y parámetros más efectivos en la electroestimulación del cuádriceps. *Fisioterapia* 2004;26(4):235-44.
- Lodish H, Berk A, Matsudaira P, Kaiser CA, Krieger M, Scott MP, et al. *Biología celular y molecular* (5.ª ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2005.
- Loeser JD, Melzack R. Pain: an overview. *Lancet* 1999;353(9164):1607-9.
- López Chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio* (3.ª ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2006.
- Lozano JA, Galindo JD, García-Borrón JC, Martínez-Liarte JH, Peñafiel R, Solano F. *Bioquímica y biología molecular* (3.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2005.
- Lustosa LP, Pacheco MG, Liu AL, Goncalves WS, Silva JP, Pereira LS. Impact of static stretching on the gain in knee-extensor strength of community-dwelling older women after a training program. *Rev Bras Fisioter* 2010;14(6):497-502.
- Mahaut-Smith MP, Rink TJ, Collins SC, Sage SO. Voltage-gated potassium channels and the control of membrane potential in human platelets. *J Physiol* 1990;428:723-35.
- Matthews GG. *Cellular physiology of nerve and muscle* (4th ed.). Oxford: Blackwell Science Ltd.; 2003.
- McGeown JG. *Physiology. A core text of human physiology with self assessment* (3rd ed.). Edinburg: Churchill Livingstone; 2007.
- McGrath JA, Eady RA. Heparan sulphate proteoglycan and wound healing in skin. *J Pathol* 1997;183(3):251-2.
- McKenna MJ, Bangsbo J, Renaud JM. Muscle K⁺, Na⁺, and Cl disturbances and Na⁺-K⁺ pump inactivation: implications for fatigue. *J Appl Physiol* 2008;104(1):288-95.
- McPherron AC, Lawler AM, Lee SJ. Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF-beta superfamily member. *Nature* 1997;387(6628):83-90.
- Meeusen R, Watson P, Hasegawa H, Roelands B, Piacentini MF. Central fatigue: the serotonin hypothesis and beyond. *Sports Med* 2006;36(10):881-909.
- Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. *Science* 1965;150(699):971-9.
- Melzack R. From the gate to the neuromatrix. *Pain* 1999;Suppl 6:S121-6.
- Melzack R. Pain-an overview. *Acta Anaesthesiol Scand* 1999;43(9):880-4.
- Mettikolla P, Calander N, Luchowski R, Gryczynski I, Gryczynski Z, Borejdo J. Observing cycling of a few cross-bridges during isometric contraction of skeletal muscle. *Cytoskeleton (Hoboken)* 2010;67(6):400-11.
- Midwood KS, Mao Y, Hsia HC, Valenick LV, Schwarzbauer JE. Modulation of cell-fibronectin matrix interactions during tissue repair. *J Invest Dermatol Symp Proc* 2006;11(1):73-8.
- Mileusnic MP, Loeb GE. Mathematical models of proprioceptors. II. Structure and function of the Golgi tendon organ. *J Neurophysiol* 2006;96(4):1789-802.
- Molloy T, Wang Y, Murrell G. The roles of growth factors in tendon and ligament healing. *Sports Med* 2003;33(5):381-94.
- Moore DR, Tang JE, Burd NA, Rerich T, Tamopolsky MA, Phillips SM. Differential stimulation of myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis with protein ingestion at rest and after resistance exercise. *J Physiol* 2009;587(Pt 4):897-904.
- Moreau ME, Garbacki N, Molinaro G, Brown NJ, Marceau F, Adam A. The kallikrein-kinin system: current and future pharmacological targets. *J Pharmacol Sci* 2005;99(1):6-38.

- Morth JP, Pedersen BP, Buch-Pedersen MJ, Andersen JP, Vilsen B, Palmgren MG, et al. A structural overview of the plasma membrane Na⁺,K⁺-ATPase and H⁺-ATPase ion pumps. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2011;12(1):60-70.
- Mulroney SE, Myers AK. Fundamentos de fisiología. Barcelona: Elsevier Masson; 2011.
- Nelson DL, Cox MM. Lehninger principles of biochemistry (4th ed.). New York: W.H. Freeman & Co; 2005.
- Newsholme EA, Leech TR. Functional biochemistry in health and disease. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2010.
- Nicholson B. Differential diagnosis: nociceptive and neuropathic pain. *Am J Manag Care* 2006;12(9 Suppl):S256-62.
- Nimni ME. Collagen. structure, function, and metabolism in normal and fibrotic tissues. *Semin Arthritis Rheum* 1983;13(1):1-86.
- Norman RI. The flesh and bones of medical cell biology. New York: Mosby; 2007.
- Otto WR, Wright NA. Mesenchymal stem cells: from experiment to clinic. *Fibrogenesis Tissue Repair* 2011;4(1):20.
- Palmlblad J. The acute inflammatory reaction: new concepts for old cells. *J Intern Med* 2010;268(1):1-4.
- Paniagua R, Nistal M, Sesma MP, Álvarez-Urfa M, Fraile B, Anadón R, et al. Biología celular (2.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2003.
- Pedraza Mejías C, Martínez Cañadas J. Respuesta fisiológica del tejido conjuntivo de músculos y tendones tras la aplicación de los agentes físicos. *Fisioterapia* 2008;30(6):279-85.
- Peltier AP. Inflamación reumática. *Encycl Méd Chir* 1996;14-042.
- Pierobon-Bormioli S, Sartore S, Libera LD, Vitadello M, Schiaffino S. "Fast" isomyosins and fiber types in mammalian skeletal muscle. *J Histochem Cytochem* 1981;29(10):1179-88.
- Pilat A. Terapias miofasciales: inducción miofascial. Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2003.
- Planells-Cases R, Valente P, Ferrer-Montiel A, Qin F, Szallasi A. Complex regulation of TRPV1 and related thermo-TRPs: implications for therapeutic intervention. *Adv Exp Med Biol* 2011;704:491-515.
- Pocock G, Richards CD. Fisiología humana. La base de la medicina (2.ª ed.). Barcelona: Masson; 2005.
- Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall WC, Lamantia A-S, McNamara JO, et al. Neurociencia (3.ª ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2011.
- Reeves ND. Adaptation of the tendon to mechanical usage. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2006;6(2):174-80.
- Reid G, Flonta ML. Ion channels activated by cold and menthol in cultured rat dorsal root ganglion neurones. *Neurosci Lett* 2002;324(2):164-8.
- Reid R, Roberts F. Pathology illustrated (6th ed.). Edinburgh: Churchill Livingstone; 2005.
- Requena SB, Padial PP, González-Badillo JJ. Percutaneous electrical stimulation in strength training: an update. *J Strength Cond Res* 2005;19(2):438-48.
- Ribot-Ciscar E, Hospod V, Roll JP, Aimonetti JM. Fusimotor drive may adjust muscle spindle feedback to task requirements in humans. *J Neurophysiol* 2009;101(2):633-40.
- Ross MH, Kaye GI, Pawlina W. Histology. A text and atlas with cell and molecular biology (4th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
- Rubtsov AM. Molecular mechanisms of regulation of the activity of sarcoplasmic reticulum Ca-release channels (ryanodine receptors), muscle fatigue, and Severin's phenomenon. *Biochemistry (Mosc)* 2001;66(10):1132-43.
- Said G. Anatomía y fisiología del nervio periférico normal. *Encycl Méd Chir* 1989;E-14-024:1-5.
- Santos HH, Ávila MA, Hanashiro DN, Camargo PR, Salvini TF. The effects of knee extensor eccentric training on functional tests in healthy subjects. *Rev Bras Fisioter* 2010;14(4):276-83.
- Scalon VC, Saunders T. Essentials of anatomy and physiology (5th ed.). Philadelphia: F.A. Davis Company; 2007.
- Schmelz M. Neuronal sensitivity of the skin. *Eur J Dermatol* 2011;21(Suppl 2):43-7.
- Schuelke M, Wagner KR, Stolz LE, Hubner C, Riebel T, Komen W, et al. Myostatin mutation associated with gross muscle hypertrophy in a child. *N Engl J Med* 2004;350(26):2682-8.
- Scott A, Khan KM, Roberts CR, Cook JL, Duronio V. What do we mean by the term "inflammation"? A contemporary basic science update for sports medicine. *Br J Sports Med* 2004;38(3):372-80.
- Secher NH, Seifert T, Van Lieshout JJ. Cerebral blood flow and metabolism during exercise: implications for fatigue. *J Appl Physiol* 2008;104(1):306-14.
- Serrano AL, Baeza-Raja B, Perdiguero E, Jardí M, Muñoz-Cánoves P. Interleukin-6 is an essential regulator of satellite cell-mediated skeletal muscle hypertrophy. *Cell Metab* 2008;7(1):33-44.
- Serrano AL, Mann CJ, Vidal B, Ardite E, Perdiguero E, Muñoz-Cánoves P. Cellular and molecular mechanisms regulating fibrosis in skeletal muscle repair and disease. *Curr Top Dev Biol* 2011;96:167-201.
- Shabarchin AA, Tsaturyan AK. Proposed role of the M-band in sarcomere mechanics and mechano-sensing: a model study. *Biomech Model Mechanobiol* 2010;9(2):163-75.
- Shacklock M. Neurodinámica clínica. Madrid: Elsevier; 2007.
- Silbernagl S, Despopoulos A. Fisiología. Texto y atlas (7.ª ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2007.
- Silverthorn DU. Fisiología humana (4.ª ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2008.
- Sinacore DR, Delitto A, King DS, Rose SJ. Type II fiber activation with electrical stimulation: a preliminary report. *Phys Ther* 1990;70(7):416-22.
- Sousa-Victor P, Muñoz-Cánoves P, Perdiguero E. Regulation of skeletal muscle stem cells through epigenetic mechanisms. *Toxicol Mech Methods*. 2011;21(4):334-42.
- Stabler T, Peterson G, Smith L, Gibson M, Zanetti N. PhysioEx 6.0 para fisiología humana. Madrid: Pearson Addison Wesley; 2006.
- Stackhouse SK, Reisman DS, Binder-Macleod SA. Challenging the role of pH in skeletal muscle fatigue. *Phys Ther* 2001;81(12):1897-903.
- Stay JC, Richard MD, Draper DO, Schulthies SS, Durrant E. Pulsed ultrasound fails to diminish delayed-onset muscle soreness symptoms. *J Athl Train* 1998;33(4):341-6.

- Stuhmer W, Ruppersberg JP, Schroter KH, Sakmann B, Stocker M, Giese KP, et al. Molecular basis of functional diversity of voltage-gated potassium channels in mammalian brain. *EMBO J* 1989;8(11):3235-44.
- Stupka N, Lowther S, Chorneyko K, Bourgeois JM, Hogben C, Tarnopolsky MA. Gender differences in muscle inflammation after eccentric exercise. *J Appl Physiol* 2000;89(6):2325-32.
- Taylor JL, Gandevia SC. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *J Appl Physiol* 2008;104(2):542-50.
- Thibodeau GA, Patton KT. Estructura y función. Barcelona: Elsevier; 2008.
- Tortora GJ, Derrickson B. Principios de anatomía y fisiología (11.ª ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2006.
- Toumi H, Best TM. The inflammatory response: friend or enemy for muscle injury? *Br J Sports Med* 2003;37(4):284-6.
- Tresguerres JAF. Fisiología humana (3.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2005.
- Ueno A, Oh-ishi S. Roles for the kallikrein-kinin system in inflammatory exudation and pain: lessons from studies on kininogen-deficient rats. *J Pharmacol Sci* 2003;93(1):1-20.
- Valenick LV, Hsia HC, Schwarzbauer JE. Fibronectin fragmentation promotes alpha4beta1 integrin-mediated contraction of a fibrin-fibronectin provisional matrix. *Exp Cell Res* 2005;309(1):48-55.
- Verdijk LB, Gleeson BG, Jonkers RA, Meijer K, Savelberg HH, Dendale P, et al. Skeletal muscle hypertrophy following resistance training is accompanied by a fiber type-specific increase in satellite cell content in elderly men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2009;64(3):332-9.
- Vickers AJ. Time course of muscle soreness following different types of exercise. *BMC Musculoskelet Disord* 2001;2:5.
- Villablanca JR. Why do we have a caudate nucleus? *Acta Neurobiol Exp (Wars)* 2010;70(1):95-105.
- Walker HK. Deep tendon reflexes. In: Walker HK, Hall WD, Hurst JW (eds.). *Clinical methods: The history, physical, and laboratory examinations*. (3rd ed.) Boston: Butterworths; 1990. p. 365-8.
- Westerblad H, Allen DG, Lannergren J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause?. *News Physiol Sci* 2002;17:17-21.
- White FA, Wilson NM. Chemokines as pain mediators and modulators. *Curr Opin Anaesthesiol* 2008;21(5):580-5.
- Widmaier EP, Raff H, Strang KT. *Vander's human physiology. The mechanism of body function* (8th ed.). New York: McGraw-Hill; 2001.
- Wood L. Fisiología del dolor. En: Watson T (ed.). *Electroterapia. Práctica basada en la evidencia*. (12.ª ed.) Barcelona: Elsevier; 2009. p. 85-97.
- Yun YR, Won JE, Jeon E, Lee S, Kang W, Jo H, et al. Fibroblast growth factors: biology, function, and application for tissue regeneration. *J Tissue Eng* 2010;2010:218142.
- Zainuddin Z, Newton M, Sacco P, Nosaka K. Effects of massage on delayed-onset muscle soreness, swelling, and recovery of muscle function. *J Athl Train* 2005;40(3):174-80.
- Zocchi MR, Rubartelli A. Nonclassical mechanism of secretion in the physiopathology of the immune system. En: Baltimore D, Dulbecco R, Jacob F, Levi-Montalcini R (eds.). *Frontiers of life*. Maryland: Academic Press; 2001. p. 477-88.

Termoterapia

Carolina Fernández Lao*, **Irene Cantarero Villanueva***,
Juan Francisco García Marcos**, **Manuel Arroyo Morales*****

*Doctora por la Universidad de Granada. Personal Docente Investigador
del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Granada

**Profesor Titular de Escuela Universitaria del Departamento de Fisioterapia
de la Universidad de Granada

***Profesor Titular de Universidad del Departamento de Fisioterapia. Universidad de Granada

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Introducción 53

Principios físicos 54

Efectos fisiológicos y terapéuticos 56

Efectos locales 57

Aumento de la actividad celular 57

Producción de eritema 57

Incremento de la extensibilidad del
colágeno 57

Normalización del tono muscular 58

Alivio del dolor 58

Aumento del rendimiento muscular 58

Reparación tisular 58

Efectos sistémicos 58

Vasodilatación refleja 58

Aumento de la temperatura central 59

Sudoración 59

Disminución de la función renal
y hepática 59

Efectos terapéuticos 59

Efecto antiespasticidad muscular 59

Efecto antiinflamatorio 59

Efecto analgésico 59

Metodología de aplicación 60

Procedimientos termoterápicos por
conducción 60

Baño de parafina 60

Peloides 61

Parches, compresas 61

Almohadillas eléctricas 61

Procedimientos termoterápicos por
convección 62

Lavados y abluciones 62

Afusiones o chorros sin presión 62

Sauna 62

Métodos por conversión 63

Corrientes de alta frecuencia 63

Radiación 64

Radiación infrarroja 64

Indicaciones 64

Contraindicaciones 64

53

INTRODUCCIÓN

El calor es una forma de energía que poseen todos los cuerpos materiales (Gil, 2006), y que se ha utilizado con fines terapéuticos desde que el ser humano comenzó a emplear los agentes físicos como medio de tratamiento (Prentice, 2001; Pérez, 2005).

La palabra termoterapia proviene de la unión de los vocablos griegos *termos*, caliente, y *therapeia*, que significa terapia. Se puede definir como el uso de cualquier sustancia y/o material

que añade calor aumentando la temperatura de los tejidos corporales (Hüter-Becker et al, 2005) y provocando un efecto terapéutico. Estos mismos autores nos indican que la termoterapia ha sido un procedimiento físico muy empleado a lo largo de la historia del hombre; así, su uso ha experimentado una evolución que queda reflejada en algunos acontecimientos importantes:

- Antes del año 3000 a.C., además de la utilización de exorcismos y oraciones para el tratamiento de las distintas enfermedades y patologías, las evidencias científicas muestran que se empleaban los agentes físicos naturales, como los baños de vapor en orificios de la tierra o en cuevas (Lain, 1989).
- Sobre el año 2000 a.C., la civilización india contaba con instalaciones usadas para baños.
- Hacia el año 1500 a.C., en el papiro de Edwin Smith, encontrado en Egipto, se describe la utilización de calor para el tratamiento de inflamaciones en etapas avanzadas y se conoce la existencia de espacios adaptados para tomar el sol con fines terapéuticos (helioterapia).
- En la Antigua Grecia, la hidroterapia y la helioterapia se empleaban en los templos, y sobre el año 400 a.C., Hipócrates defendió el uso terapéutico del vapor, las compresas calientes y las cataplasmas.
- En Roma, del año 100 a.C. al 260 d.C., se crearon, junto a campamentos militares, establecimientos de baños por todo su ámbito de influencia, denominados termas. Además, se describieron indicaciones y aplicaciones concretas para el uso de los baños, fangos, etc.
- Alrededor del siglo III d.C., se produjo una difusión de los baños de vapor de aire caliente, denominados saunas en Escandinavia, y del baño turco o Banja.
- Durante los siglos V a VII d.C., se continúa con el uso de las aguas termales, y se produjo una gran difusión del empleo de las termas y baños públicos en las zonas con influencia árabe.
- Desde los siglos XI a XV se continuó con el empleo de los manantiales naturales y se crearon salas de baños en las ciudades de Europa Central. Por otro lado, se produjo un retroceso en la práctica de los tratamientos de termoterapia aplicada mediante procedimientos de hidroterapia por el miedo al contagio de enfermedades y por las guerras.
- Posteriormente, en los siglos XV y XVI, gracias a la imprenta se produjo una gran difusión de las técnicas de termoterapia. Así, apareció el que se considera el primer tratado sobre balneoterapia *Balneis et Thermis*, de Savonarola, en 1485. En España aparecieron numerosas publicaciones relacionadas, como la de Gutiérrez de Toledo (1498), quien nos habla de las normas de utilización de los baños de Alhama de Granada y de Alhama de Aragón.

A partir de este momento y hasta finales del siglo XIX y principios del XX, época de mayor esplendor, se produjo una mejora progresiva en cuanto al conocimiento y a las aplicaciones de la termoterapia, y aparecieron numerosas figuras importantes que defendían su uso y practicaban nuevas formas de aplicación. Posteriormente, debido a cambios en los puntos de interés médico y social, se frenó el uso de la técnica.

En la actualidad, gracias al resurgimiento de las terapias naturales, la importancia de la prevención y del bienestar general, se ha recuperado el interés por este procedimiento terapéutico, apoyado además por un importante avance científico centrado en la aplicación de la termoterapia para alteraciones o enfermedades concretas. Así, por ejemplo, es el tratamiento físico más empleado en Japón.

PRINCIPIOS FÍSICOS

Antes de comenzar el desarrollo de los efectos fisiológicos y terapéuticos, así como con la descripción de los procedimientos de aplicación de termoterapia, debemos abordar las características de los principios físicos que la regulan. Según la *primera ley de la termodinámica* o *ley de conservación de la energía*: «En todo proceso que ocurre dentro de un sistema aislado, la energía del sistema permanece constante.» Por ello, cualquier tipo de energía (eléctrica, química, etc.)

puede ser convertida en energía calórica al 100%. Sin embargo, este proceso no es reversible. Así, no todo el calor almacenado en la microestructura de la materia puede ser transformado en otro tipo de energía.

Si un tipo de energía se transforma en otra, parte de la energía se convierte en calor. En consecuencia, el calor es una forma de energía intercambiable con otras formas como la energía eléctrica, mecánica, etc. (Watson, 2009).

No debemos confundir los conceptos de calor y de temperatura. El término **calor** se refiere a la cantidad de energía cinética presente en el conjunto de las moléculas que forman los cuerpos materiales, ya se trate de sólidos, líquidos o de masas gaseosas. Se trata, por tanto, de una forma de energía que poseen todos los cuerpos materiales. La **temperatura** de ese objeto es el valor que refleja la cantidad de energía cinética promedio de las moléculas constituyentes del mismo. Por lo tanto, todos los cuerpos tienen una cierta temperatura y es medible en la escala termodinámica o absoluta de Kelvin, que siempre es positiva y parte de 0 °K o en la escala Celsius, que equivale a la anterior pero parte de -273,15 °C. Así, 0 °C equivalen a 273,15 °K. Este principio es aprovechado para el diagnóstico clínico mediante las imágenes termográficas (Seco, 2004).

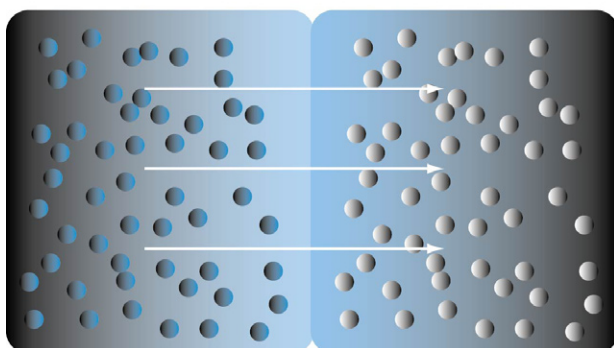
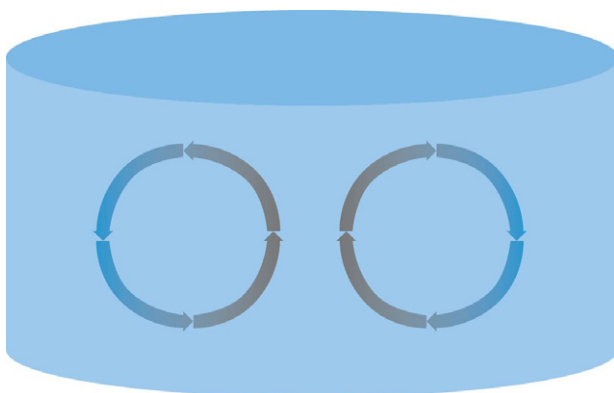
Cuando a un cuerpo se le aporta calor se producen una serie de fenómenos físicos, entre los que destacan, como nos propone Watson (2009):

- La elevación de la temperatura del cuerpo.
- La expansión de la materia que constituye el cuerpo; es decir, la dilatación o el aumento de presión en el caso de ser un gas.
- Cambios en el estado físico: esto es, pasar de sólido a líquido o a gaseoso.
- La aceleración de las reacciones químicas, mediante la ley de Van't Hoff.
- Producción de un voltaje eléctrico: este fenómeno aparece en el caso de la unión de dos metales y además es reversible: es decir, si se le aplica un voltaje o diferencia de potencial eléctrico a la unión de dos metales éstos se calientan.
- Producción de ondas electromagnéticas en forma de fotones.
- Reducción de la viscosidad de los fluidos: este fenómeno es muy importante en las diferentes aplicaciones de termoterapia por los efectos fisiológicos que se provocan y sus repercusiones terapéuticas, como posteriormente abordaremos.

La *segunda ley de la termodinámica* establece que el calor no puede producirse por sí solo, sin que exista un trabajo realizado por un agente externo, que permita modificar el paso de un cuerpo frío a más caliente. Por ello, en termoterapia se distinguen distintas formas de transmisión del calor, según esta segunda ley de la termodinámica (Becker, 1997; San José, 2001; Ocaña, 2009; Watson, 2009):

- **Conducción.** Este modo de transferencia de calor se produce al entrar en contacto dos objetos con distinta temperatura. El mecanismo de transferencia térmica se produce mediante una cesión directa de energía cinética entre moléculas que se encuentran a diferente temperatura (a través de un fenómeno de colisión molecular directa). La transferencia de energía térmica se produce desde el objeto de mayor temperatura al de menor, debido a la búsqueda del equilibrio energético (fig. 3.1). La diferencia de temperatura entre los objetos, la capacidad y la conductividad repercuten directamente en el alcance y velocidad del calentamiento de un cuerpo.
- **Convección.** En primer lugar, corresponde describir el concepto de corriente de convección. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Éstos, al calentarse, aumentan de volumen y, por lo tanto, su densidad disminuye y ascienden desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Una vez enfriado vuelven a descender y a tomar contacto con la fuente de calentamiento, generando un circuito térmico al que denominamos corriente de convección (fig. 3.2). De esta forma, los mecanismos de transferencia térmica de tipo conductivo se llevan a cabo cuando un gas

MEC. transferencia térmica por conducción

**FIGURA 3.1** Transmisión del calor por conducción.**FIGURA 3.2** Corriente de convección.

o un líquido producen una corriente de convección y ésta interactúa con un material que se encuentra a diferente menor temperatura, cediendo parte de su energía cinética.

- Radiación y conversión. Las radiaciones electromagnéticas no necesitan de ningún medio o soporte para su propagación, ya que son capaces de transmitirse a través del vacío. Sin embargo, al interactuar con algún medio material generan calor por conversión. Éste es un fenómeno de transformación de una energía no térmica en térmica. En fisioterapia empleamos numerosos procedimientos de intervención en los que la energía de naturaleza electromagnética (no térmica) se convierte en calor al interactuar con los tejidos corporales.
- Evaporación. Esta modalidad de transferencia es característica de ciertos procesos biológicos, como los que tienen que ver con las pérdidas de calor corporal a través de los procesos de sudoración y en la exhalación de aire durante los procesos de respiración. Muchos autores no la consideran un mecanismo de transferencia térmica como tal, pues puede ser entendida como una variante de la convección. La evaporación es de gran utilidad en los procedimientos de fisioterapia, que se sirven tanto de aplicaciones de termoterapia como de crioterapia.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS Y TERAPÉUTICOS

Los efectos fisiológicos derivados de la termoterapia dependen de la relación estímulo-reacción. Así, es fundamental considerar la temperatura y la forma de aplicación, el tiempo, la localización, el volumen total, la composición y la capacidad para disipar el calor del tejido que absorbe la energía. Además, hay que destacar que existen otros factores personales que deben ser considerados en el proceso de intercambio de energía térmica, como las enfermedades que presente

el sujeto/paciente, las creencias o hábitos sociales, el estado emocional, la edad o el sexo, entre otros.

Desde el punto de vista fisiológico, se considera *temperatura indiferente* aquella que resulta neutral para el organismo. Ésta suele establecerse entre los 33 y los 35 °C en el agua y los 22 °C en el aire (Hüter-Becker, 2005). Por otro lado, para poder considerar que un agente físico aporta calor, debe poseer una temperatura superior a la del organismo humano, pudiéndose ésta incrementar hasta el límite de tolerancia cutánea, que se sitúa alrededor de los 45,5 °C, a partir del cual se produce un daño total en las proteínas (Darryl, 2004; Watson, 2009).

Los principales efectos fisiológicos que se producen en el organismo tras la aplicación de un procedimiento de termoterapia podemos dividirlos en efectos locales (que afectan a la zona de aplicación) y sistémicos o generales (que afectan a todo el organismo).

Entre ellos corresponde destacar los que se exponen a continuación.

EFFECTOS LOCALES

Aumento de la actividad celular

Es consecuencia de la ley de Van't Hoff por la que se aceleran las reacciones bioquímicas y aumenta el trofismo. El índice metabólico se incrementa hasta un 13% por cada grado Celsius de elevación de la temperatura tisular, lo que conlleva un aumento de la demanda de oxígeno y nutrientes y una mayor producción de productos de desecho metabólicos (Watson, 2009). Este efecto fisiológico es de gran importancia pero reviste cierta precaución; por ejemplo, en el caso de alteraciones reumáticas como la artritis, porque el incremento de la actividad de la collagenasa (enzima destructiva del colágeno) puede acelerar la evolución de la enfermedad.

Producción de eritema

Es consecuencia del aumento del flujo sanguíneo, tanto superficial como profundo, con el consiguiente aporte de nutrientes y oxígeno a la zona de aplicación. Esta reacción puede producirse por efecto directo del tono vascular simpático, por un reflejo axonal local o por un incremento de algunos metabolitos en el torrente sanguíneo. A un nivel más profundo se da un equilibrio entre vasodilatación, debida al calor y al aumento del flujo sanguíneo, y vasoconstricción, provocada por los mecanismos de termorregulación por la dirección del flujo a la superficie. Existen estudios que demuestran la necesidad de aplicar al menos 38 °C a nivel local para producir un aumento significativo del riego sanguíneo, y una temperatura de 40 °C para tejidos más profundos (San José, 2001). Sin embargo, está claro que este tipo de aplicaciones de termoterapia no pueden llevarse a cabo en presencia de un proceso agudo, pues al asociarse con los mediadores químicos como la bradicinina y la histamina puede provocar edema y retrasar la recuperación de los tejidos.

Incremento de la extensibilidad del colágeno

El colágeno es el componente principal del tejido conjuntivo y está presente en el tendón, los ligamentos, las fascias y los músculos, y se ve muy influido por la acción del calor (Darryl, 2004). Así, temperaturas por encima de los 40 °C producen cambios irreversibles en la estructura del colágeno.

Existe cierta controversia entre los diferentes estudios en relación con cuál debe ser la temperatura recomendada para mejorar la extensibilidad del colágeno, tan necesario en las movilizaciones de articulaciones anquilosadas. Según las diferentes fuentes bibliográficas consultadas, nuestra propuesta es la de alcanzar una temperatura en el tejido de unos 39 °C y no superar los 40 °C (Draper et al, 2004; Watson, 2009). Estudios de revisión sistemática como el llevado a cabo por Robinson et al (2002) nos confirman que la termoterapia disminuye la rigidez articular y aumenta la movilidad en pacientes con artritis reumatoide.

Normalización del tono muscular

Existen evidencias científicas de que la aplicación de calor entre los 30 y los 45 °C produce una reducción del espasmo muscular (Lehmann y De Lateur, 1990). No obstante, aún no se conocen los mecanismos por los que se produce esta respuesta, a la que se está tratando de dar justificación desde el punto de vista fisiológico mediante los órganos tendinosos de Golgi, la respuesta de los husos musculares o las aferencias secundarias.

Alivio del dolor

La disminución del dolor es el objetivo con el que con mayor frecuencia se emplea la aplicación de calor, aunque los mecanismos originadores de este efecto no están aún suficientemente aclarados (San José, 2001; Ottawa, 2004). Existen diferentes teorías que explican el mecanismo que desencadena la hipertermia desde el punto de vista analgésico. Por una parte, ante un espasmo muscular, el calor produce un aumento de la circulación en la zona isquémica e influye en distintos componentes y mecanismos del sistema musculoesquelético disminuyéndolo siempre que se aplique un calor moderado, es decir, por debajo de los 37,5 °C. En esta misma línea se pronuncia el estudio de revisión sistemática realizado por Robinson et al (2002), quienes nos confirman que la termoterapia ayuda a relajar a la musculatura y a aumentar la circulación de la zona afectada, por lo que es beneficiosa en la disminución del dolor en pacientes con artritis reumática. Sin embargo, también nos informan que esta atenuación del dolor se logra con incrementos de temperatura moderados en estadios subagudos y crónicos, porque en fases agudas y con intensidades de calor muy elevadas se pueden agravar la inflamación y el edema (Arthritis Foundation, 2003). Por otro lado, se producen cambios en la velocidad de conducción del impulso nervioso, la cual se disminuye, también se eleva el umbral de sensibilidad de los nociceptores y se reduce la contractura muscular (Arcas, 2004).

Aumento del rendimiento muscular

Aunque los estudios que investigan este efecto fisiológico son escasos, lo que sí sabemos es que no debemos superar los 40 °C, porque se produciría daño tisular (Watson, 2009). Existen ciertas evidencias científicas que avalan que la aplicación de termoterapia hace que el músculo presente una mayor fuerza, y puede ser interesante en la práctica clínica. Por ejemplo, Edwards et al (2009) demostraron que la capacidad de contracción isométrica disminuye tras una aplicación de los miembros inferiores en agua a 44 °C durante 45 minutos.

Reparación tisular

Como ya se ha comentado, la aplicación de termoterapia debe limitarse a estadios subagudos o crónicos de cualquier afección, que es cuando existe un retardo en sus procesos reparativos, porque, de lo contrario, se favorecen el edema y la inflamación. El nivel de dosificación con termoterapia con el objetivo de la reparación tisular se sitúa en el entorno de los 38-40 °C. Así, tenemos estudios que nos hablan de que a 38,6 °C se produce un aumento de la captación de oxígeno en el músculo (Abramson et al, 1958). Además, existen evidencias científicas que llegan a la conclusión de que con la aplicación de termoterapia se produce un aumento de leucocitos y nutrientes por el incremento del flujo sanguíneo, y han demostrado ser eficaces en la reparación de heridas (Horwitz et al, 1999).

EFFECTOS SISTÉMICOS

Vasodilatación refleja

Esta vasodilatación refleja afectará a zonas alejadas a la región de aplicación, como las viscerales y otras estructuras internas, y se produce como consecuencia de la necesidad de disipar

el calor que se aplica mediante el procedimiento de termoterapia a través de la piel. Este efecto es muy importante en el caso de aplicaciones de termoterapia prolongadas y no debemos olvidarlo en el caso de pacientes con riesgo o alteraciones de procesos hemorrágicos internos.

Aumento de la temperatura central

Este efecto es apreciable en todos los pacientes, aunque la aplicación se realice en zonas muy periféricas, como manos o pies. No obstante, la respuesta depende tanto de la intensidad como de la extensión de la zona de aplicación del estímulo térmico. Por ello está contraindicado el empleo de termoterapia en pacientes con fiebre y/o con infecciones sistémicas.

Sudoración

Es un mecanismo muy importante para eliminar el exceso de calor en el cuerpo. Por cada gramo de sudor evaporado en la piel se eliminan casi 0,6 kcal de calor. Además, al producirse la sudoración se mejora la depuración a través de la piel de ciertas sustancias nocivas (toxinas).

Disminución de la función renal y hepática

Al aplicar termoterapia se produce el fenómeno de la sudoración y una reducción de la vascularización visceral. Por ello, se reduce la función renal y del flujo urinario, así como la depuración hepática.

EFFECTOS TERAPÉUTICOS

Los efectos terapéuticos asociados con las aplicaciones de termoterapia son consecuencia de los efectos fisiológicos anteriormente descritos, y entre los más representativos podemos destacar los siguientes:

Efecto antiespasticidad muscular

Este efecto se produce tanto en la musculatura estriada como en la lisa. El calor aumenta la extensibilidad de los tejidos fibrosos y ello provoca una disminución de la rigidez articular. Además, reduce el ciclo vicioso dolor-contractura muscular-isquemia-dolor (Pérez, 2005). Asimismo, mejora las propiedades viscoelásticas de los tejidos ricos en colágeno, como los que se encuentran en tendones, ligamentos, cápsulas articulares o cicatrices (Darryl, 2004).

Efecto antiinflamatorio

Tras una aplicación de termoterapia se produce una mejora de la nutrición de los tejidos, aumentando la reabsorción de los productos catabólicos, lo que favorece la acción bactericida, trófica y analgésica. Este efecto es especialmente importante en fases subagudas y crónicas, fundamentalmente. Además, el calor produce un aumento de la actividad metabólica y enzimática (Plaja, 2003).

Efecto analgésico

La termoterapia produce la estimulación de las terminaciones nerviosas de la piel y la secreción de algunos neurotransmisores que intervienen en el bloqueo de las sensaciones dolorosas (Arcas, 2004). El efecto analgésico se consigue de forma rápida después de la aplicación terapéutica, aunque la respuesta no se mantiene en el tiempo, una vez finalizada aquella; es decir, el efecto no es muy duradero.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

Gracias a la gran tradición del empleo de los procedimientos termoterapéuticos, existe una importante variedad de aplicaciones de éstos en el ámbito clínico, estético y deportivo. Para facilitar su comprensión, los hemos clasificado en función de la forma de transmisión del calor que utilizan, que es como se han descrito habitualmente y como puede observarse en la tabla 3.1 (Martínez et al, 2000).

El desarrollo y la descripción de los procedimientos de termoterapia los hemos dividido atendiendo al material empleado, al tipo de aplicación y al mecanismo de transferencia térmica.

PROCEDIMIENTOS TERMOTERÁPICOS POR CONDUCCIÓN

Los procedimientos terapéuticos de termoterapia mediante medio conductivo requieren de la existencia de contacto entre los materiales a través de los cuales se va a producir la transferencia térmica, normalmente agente físico y superficie corporal del paciente (conducción térmica a través de la piel).

Baño de parafina

La parafina es una sustancia aislante que destaca por su capacidad de mantener el calor durante un tiempo prolongado y uniforme. Además, es posible reutilizarla (aunque clínicamente está contraindicado) y se aplica de forma sencilla. En los últimos años se ha comenzado a emplear en fusión con sustancias peloides como la turba, los fangos, etc., o con aceites minerales (Hüter-Becker, 2005). El procedimiento de aplicación comienza con el calentamiento de la parafina en agitadores de calefacción automática en torno a los 65 °C, para posteriormente mantenerse a una temperatura próxima a su punto de fusión, entre los 45 y los 54 °C, que es la temperatura de aplicación más habitual (Plaja, 2003).

La técnica de aplicación más común se denomina método de inmersión repetida, esto es, la zona corporal que debe tratarse (pies, manos, etc.) se sumerge de forma breve y esto se repite entre seis y 10 veces. De esta forma se van creando capas de parafina que se parecen a un guante o un calcetín. Una vez generada la envoltura de parafina, se debe proteger la región de aplicación mediante una bolsa de plástico y se tapa con una toalla. Esta aplicación se mantiene entre 15 y 20 minutos. Este procedimiento puede aplicarse diariamente o en días alternos en el caso de tratamientos de fisioterapia clásica como técnica preparatoria para posteriormente

TABLA 3.1 Aplicaciones termoterápicas según la forma de aplicación del calor

Modo de transmisión del calor			
Conducción	Convección	Conversión	Radiación
Termoterapia superficial			
Baños de parafina	Lavados o abluciones		Infrarrojos
Compresas	Afusiones		
Almohadillas eléctricas	Baños		
Hot-pack	Sauna		
Bolsas de hidrocoloide			
Profunda			
		Onda corta	
		Microondas	
		Ultrasonidos	

Adaptado de Lehmann y Lateur (1990).

realizar una movilización articular, por ejemplo. En las aplicaciones de fisioterapia estética se emplea como «peeling cutáneo» y para mejorar la circulación periférica de regiones distales de las extremidades, como las manos.

Peloides

Desde 1949 se utiliza esta denominación para referirse a una mezcla heterogénea de sustancias hipertermales o hipertermalizadas, formada al menos por dos componentes: un sustrato sólido, como sedimentos, arcillas, limos, fangos, etc., y un componente líquido, frecuentemente agua mineromedicinal (San José, 2001; Mourelle et al, 2009). Se suelen preparar con arcillas y sedimentos que deben sufrir adecuados procesos de maduración, homogenización, amasamiento, etc., para que adquieran las condiciones físicas, químicas y biológicas necesarias. La maduración, en el caso de los fangos y las turbas, suele realizarse en piscinas o grandes tanques, mientras que en el caso de limos, biogleas, sapropellis y gyttja se necesita un proceso de recolección, amasamiento y homogenización. Se necesitan también paños de lona o tela impermeabilizada de grosor variable (hasta 10 cm) según el efecto que se pretenda (cuanto más gruesa mejor mantenimiento del calor). Los peloides se aplican en forma de emplastos o envolturas que se colocan de manera local, regional o general (Pérez, 2005). La técnica de tratamiento consiste en la aplicación tópica, general o local, de materiales peloides con fines terapéuticos. Para su uso en forma de emplasto, se aplica el peloide directamente en la zona que va a tratarse o previamente extendido sobre la lona o tela. Posteriormente se envuelve el cuerpo con una sábana impermeable y, o se cubre con una manta o se aplica calor. Se pueden aplicar también a modo de compresas envolviendo el peloide en una doble capa de material poroso biodegradable, de forma que no es necesario el lavado posterior de la zona. La temperatura de aplicación varía entre 39 y 50 °C, y se mantiene entre 15 y 20 minutos, según los objetivos deseados. Posteriormente se deja un período de reposo comprendido entre 10 y 30 minutos. Suelen realizarse ciclos de 15 o 20 días de aplicaciones diarias o en días alternos cada 6 o 12 meses (Mourelle, 2009). Este procedimiento de fisioterapia está en pleno auge entre los tratamientos estéticos y en los centros de balneoterapia y «spa».

Parches, compresas

Se utilizan para proporcionar calor en áreas corporales pequeñas. Existen diferentes variedades, entre las que destacan las compresas o parches secos, que son las más frecuentes, como geles, cereales, elementos eléctricos o mezclas químicas, y las húmedas, que son introducidas en agua y tienen un enfriamiento más rápido (Watson, 2009). En la literatura científica también se denominan *hot-pack*, que son bolsas de hidrocoloide que se calientan en agua caliente o al microndas. La temperatura de las compresas es de 40-42 °C y el tiempo de aplicación es de 15-20 minutos.

Almohadillas eléctricas

Se pueden considerar envolturas, que suelen ser comercializadas incluso sin prescripción sanitaria, lo cual hace que sean una de las formas de termoterapia superficial más comúnmente empleadas por el público general. Producen un calor rápido y uniforme, y tienen una forma de aplicación sencilla y cómoda, aunque de eficacia moderada (Aramburu et al, 1998). Poseen una potencia comprendida entre los 10 y los 50 vatios, según el modelo. El calor se produce mediante el calentamiento de una resistencia eléctrica que se encuentra en el interior. Se presentan en forma de mantas o almohadas, o bien como modelos ajustables a la zona en la que debe aplicarse y deben estar adecuadamente aisladas. Suelen disponer de un interruptor con diferentes intensidades de calentamiento. Al mantenerse constante el nivel de temperatura existe riesgo de que se produzcan quemaduras, sobre todo si el paciente se duerme sobre ella, porque el efecto analgésico del calor puede hacer que el paciente no perciba la quemadura en

el momento en el que se produce (Kottke y Lehman, 1997). Por otro lado, el peso del cuerpo sobre el mecanismo hace que la temperatura de la piel se eleve de forma importante. El tiempo recomendado de aplicación y la intensidad de calor suministrado deben ser prescritos por un especialista dependiendo de la afección y de las características personales del sujeto/paciente.

PROCEDIMIENTOS TERMOTERÁPICOS POR CONVECCIÓN

Los procedimientos de termoterapia que transfieren el calor mediante este modo se caracterizan porque se realizan mediante la interposición de la región corporal que debe tratarse dentro de una corriente de convección a través de la que circula un fluido (líquido y gas).

Lavados y abluciones

Pueden definirse como los procedimientos en los que se realiza una aplicación directa de agua mediante el uso de la mano, esponja, guante, etc. (Mourelle, 2009). Son fricciones húmedas a baja presión en toda la superficie corporal o en una parte de ésta. La técnica de aplicación consiste en humedecer la zona corporal que debe tratarse con un paño de lino mojado y escurrido en agua fría entre 12 y 16 °C o en agua templada con una temperatura entre 20 y 23 °C. Es muy importante secar al paciente después de la aplicación. Este procedimiento está muy extendido entre las técnicas de fisioterapia estética, plástica y reparadora, y en las fases de recuperación funcional de deportistas.

Para la aplicación de lavados y abluciones se necesita un paño de cualquier material que permita la aplicación con una mano, un guante o una esponja, un recipiente con agua y un termómetro. Pueden aplicarse de forma local, regional o general. Se realizan en una posición que facilite la aplicación con la mayor rapidez posible. Se moja y escurre el paño, y se aplica desde el centro hacia fuera y de manera centrípeta. Para finalizar se arroja convenientemente a la persona y se deja en reposo (Mourelle, 2009).

Afusiones o chorros sin presión

Consisten en la aplicación de un chorro de agua sin presión a modo de manto uniforme. En general se emplea agua fría (10-12 °C), templada (18-20 °C) o caliente (40-42 °C), aunque también pueden hacerse con cambios de temperatura; caliente (38 °C, durante 2 min) y frías (10-16 °C, entre 10 y 20 s) (San José, 2001). También se emplea una manguera de unos 2 cm de diámetro. Se necesitan sábanas y mantas calientes. Se aplican a una distancia de unos 20 cm y con una orientación caudal, colocando al paciente según la zona que va a tratarse. La temperatura puede ser muy variada, y se usan temperaturas de hasta 45 °C. Pueden realizarse de forma homogénea, comenzando con el agua a una temperatura indiferente y se va aumentando de manera progresiva hasta el límite de tolerancia, cuando se mantiene unos 3 o 5 minutos, o alternando con agua fría (a 10-16 °C). Cuando se realiza de manera alterna, se comienza con la aplicación caliente durante uno o 2 minutos y posteriormente se realiza la aplicación fría, que suele tener una duración de alrededor de 20 segundos. Se finaliza siempre con la aplicación fría. Para finalizar, se elimina el agua de la superficie corporal dejando la piel húmeda y posteriormente se puede realizar otra técnica terapéutica como masaje o fricción. Se finaliza con 30 a 60 minutos de reposo (Morelle, 2009).

Sauna

Se ha empleado durante siglos en los países escandinavos y de Europa Oriental (Hüter-Becker, 2005; Morelle, 2009). La sauna consiste en un baño por convección de aire ambiental seco y caliente, con una humedad relativa del 10 al 20%. Durante la aplicación se pueden introducir golpes de vapor, alternados con enfriamientos mediante aplicaciones de agua fría o exposición al aire exterior (Blum y Blum, 2007).

Esta técnica se realiza en una habitación cerrada, forrada de madera, la cual absorbe la humedad ambiental. Sin embargo, debe poseer una adecuada ventilación, lo que significa que el aire debe ser renovado de tres a ocho veces por hora, para que no se produzca una gran concentración de humedad dentro de la sauna (Hüter-Becker, 2005).

La piel puede llegar a alcanzar una temperatura de 40 °C y el bajo grado de humedad hace que se produzca una importante evaporación del sudor, que ayuda a la buena tolerancia de esta aplicación. La sudoración suele comenzar rápidamente, pero alcanza el máximo a los 15 minutos de la aplicación. Además, algunos estudios han estimado que se puede producir una cantidad de sudoración de 0,5 g/h (Blum y Blum, 2007).

El golpe de calor se consigue al añadir agua, que se vuelca sobre las piedras del horno. Dicha agua puede estar mezclada con pequeñas cantidades de aceite etéreo, como el eucalipto o la esencia de agujas de pino, que ayudan a crear un ambiente fresco y favorecedor de la respiración. Con ello se produce una rápida evaporación y un aumento bastante notable de la humedad del aire de la estancia.

Este procedimiento es recomendable aplicarlo en dos o tres sesiones semanales, con una duración total comprendida entre una y 2 horas, en aplicaciones de unos 10 minutos, no superando los 15 minutos (Mourelle, 2009). Se debe realizar 2 horas después de la última ingesta de comida y esperar al menos una hora para comer después de su aplicación. No se deben tomar previamente bebidas alcohólicas. Además, se aconseja evacuar el intestino y la vejiga antes de la aplicación. Por lo general en la sauna debe haber una temperatura de unos 40 °C en el aire que se encuentra en la parte inferior de la estancia y de aproximadamente 100 °C a la altura del techo.

MÉTODOS POR CONVERSIÓN

Corrientes de alta frecuencia

Onda corta

Se basa en la aplicación de ondas electromagnéticas a los tejidos con un fin terapéutico. Es una corriente de alta frecuencia, con una frecuencia aprobada para el uso médico de 27,12 MHz (Albornoz y Maya, 2008). El uso terapéutico de la onda corta se fundamenta principalmente en que las ondas son absorbidas de forma selectiva por los tejidos con mayor contenido en agua, de forma que se puede obtener un efecto específico sobre tejidos blandos, y un menor calentamiento en tejidos como el hueso (Rodríguez, 2000).

Existen diferentes tipos de aplicaciones de onda corta, como el método capacitativo y el método inductivo. En el primero prevalecen el campo eléctrico y los efectos térmicos y en el segundo, el campo magnético y los efectos biológicos (Albornoz y Maya, 2008).

Los métodos de aplicación, así como todas las características técnicas, superan el fin de esta obra y los procedimientos generales de fisioterapia.

Microondas

Pertenecen al grupo de la electroterapia de alta frecuencia. El tratamiento mediante la aplicación de microondas está basado en la absorción de oscilaciones electromagnéticas, que se encuentran en la gama de frecuencias de 2.450 MHz (Albornoz y Maya, 2008).

Su uso está muy extendido en los servicios de fisioterapia clínica, principalmente hospitalarios. Las microondas producen un calentamiento mayor en el tejido graso que en el músculo (Cameron, 2009), a diferencia de la onda corta, que lo hace que sean más adecuadas para su aplicación en tejidos que se encuentran más próximos a la piel. Estas corrientes poseen un gran abanico de aplicaciones y producen una sensación de calor agradable en el paciente. Al igual que las aplicaciones de onda corta, no se abordan en esta obra por exceder las competencias de los procedimientos generales de fisioterapia.

Ultrasonidos

Son ondas mecánicas de naturaleza sonora que requieren de un medio para su transmisión. Actúan mediante compresiones y dilataciones periódicas de los tejidos (Aramburun et al, 1998), produciendo vibraciones mecánicas de gran frecuencia, que dan como resultado la producción de calor. La absorción de energía ultrasónica por parte de los tejidos es exponencial, lo cual significa que se absorbe menos energía en los tejidos profundos que en los superficiales (Lehmann y Lateur, 1999). Generalmente los tejidos más ricos en proteínas absorben los ultrasonidos en mayor medida que los que tienen mayor contenido de agua y menos proteínas, como el tejido graso y la sangre (Watson, 2009). Este procedimiento no se describe entre las competencias de esta obra, pues excede sus objetivos.

RADIACIÓN

Radiación infrarroja

La radiación infrarroja se considera un agente térmico superficial perteneciente a los procedimientos de fototerapia que se describen en el Capítulo 9.

INDICACIONES

Al igual que con cualquier otro medio terapéutico, previamente a cualquier aplicación es necesario establecer un diagnóstico preciso, a partir del cual se marcan los objetivos, las técnicas y los parámetros de aplicación adecuados.

La termoterapia suele aplicarse en procesos subagudos y crónicos como:

- Enfermedades del aparato locomotor subagudas y crónicas, fundamentalmente contusiones, artritis, artrosis, esguinces, mialgias, etc.
- Alteraciones o enfermedades del sistema nervioso: neuralgias, neuritis, poliomielitis, hemiplejía, espasmos musculares de origen nervioso, etc.
- Trastornos funcionales y orgánicos del riego sanguíneo periférico (aplicaciones indirectas).
- Trastornos del aparato digestivo: espasmódicos abdominales, cólicos biliares, etc.
- Procesos subagudos y crónicos del suelo pélvico.

CONTRAINDICACIONES

Debido a la gran cantidad de aplicaciones, existen numerosas contraindicaciones generales y específicas. En este capítulo nos centraremos en las contraindicaciones generales (Apolo et al, 2006; Watson, 2009):

- Procesos inflamatorios agudos.
- Hemorragias.
- Estados febriles.
- Procesos inflamatorios agudos.
- Estados agudos postraumáticos.
- Procesos infecciosos agudos.
- Tromboflebitis y trombosis.
- Tumores malignos.
- Insuficiencia coronaria, cardíaca e hipertensión.
- Insuficiencias orgánicas graves o en períodos de descompensación (p. ej., diabetes grave y mal controlada).
- Enfermos terminales.
- Insuficiencia de retorno venoso y varices en miembros inferiores.

Bibliografía

- Abramson DI, Kahn A, Tuck S, et al. Relationship between a range of tissue temperature and local oxygen uptake in the human forearm. I: changes observed under resting conditions. *J Clin Invest* 1958;37:1031-8.
- Albornoz M, Maya J. Electroterapia. Secretariado de Recursos Audiovisuales y Nuevas Tecnologías. Universidad de Sevilla; 2008.
- Apolo Arenas MD, López Fernández-Argüelles E, Caballero Ramos T. Utilización de la Termoterapia en el ámbito deportivo. *Revista Digital Deportiva* 2006;2:3-20. Disponible en: <http://www.e-balonmano.com/revista/articulos/v2n1/v2-n1-a3.pdf> [acceso el 25-05-2011].
- Aramburu de Vega C, Muñoz Díaz E, Igual Camacho C. Electroterapia, termoterapia e hidroterapia. Barcelona: Síntesis; 1998.
- Arcas P. Manual de fisioterapia, Módulo I. Generalidades. Sevilla: Ed. Mad; 2004.
- Arthritis Foundation. Conditions and treatments. Disease Centre. Osteoarthritis 2003.
- Becker BE. Biophisiology aspects of hydrotherapy. In: Becker BE, Cole AJ (eds.). *Comprehensive aquatic therapy*. (1st ed.). Boston: Butterworth-Heinemann; 1997. p. 17-48.
- Blum N, Blum A. Beneficial effects of sauna bathing for heart failure patients. *Exp Clin Cardiol* 2007;12(1):29-32.
- Cameron MH. Agentes físicos en rehabilitación. De la investigación a la práctica (3.^a ed.). Barcelona: Elsevier; 2009.
- Darryl J. Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Phys Ther Sport* 2004;5:26-34.
- Draper DO, Castro JL, Feland B, Schulthies S, Eggett D. Shortwave diathermy and prolonged stretching increase hamstring flexibility more than prolonged stretching alone. *J Orthop Sports Phys Ther* 2004;34(1):13-20.
- Edwards R, Harris R, Hultman E, et al. Energy metabolism during isometric exercise at different temperatures of m. quadriceps femoris in man. In: Watson T (ed.). *Electroterapia. Práctica basada en la evidencia*. Barcelona: Elsevier-Churchill Livingstone; 2009.
- Gil Chang V. Fundamentos de Medicina de Rehabilitación. San José: Editorial EUCR; 2006.
- Horwitz LR, Burke TJ, Carnegie D. Augmentation of wound healing using monochromatic infrared energy. *Exploration of a new technology for wound management*. *Adv Wound Care* 1999;12:35-40.
- Hüter-Becker A, Schewe H, Heipertz W. *Terapia Física: Termoterapia, Mecanoterapia, Electroterapia, Ultrasonidos, Fototerapia*. Barcelona: Paidotribo; 2005.
- Kottke F, Lehman J. *Medicina Física y Rehabilitación*. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 1997.
- Lafín Entralgo P. *Historia Universal de la Medicina*. Barcelona: Salvat; 1989.
- Lehmann JF, Lateur JB. Ultrasound, shortwave, microwave, laser, superficial heat and cold in treatment of pain. In: Wall PD, Melzack R (eds.). *Textbook of pain*. (4th ed.). New York: Churchill Livingstone; 1999. p. 1383-97.
- Lehman JF, De Lateur BJ. Therapeutic heat. *Therapeutic Heat and Cold*. (4th ed.). Baltimore: Williams & Wilkins; 1990. p. 417-581.
- Martínez Murillo M, Pastor Vega M, Sendra Portero F. *Manual de Medicina Física*. Madrid: Harcourt; 2000.
- Mourelle Mosqueira L, Meijide Failde R, Freire Magariños A, Maraver Eyzanguirre F, Carretero León MI. *Técnicas hidrotermales y estética del bienestar*. Madrid: Paraninfo; 2009.
- Ocaña García V. *Actualización en Técnicas de Hidroterapia para Fisioterapeutas*. Madrid: Editorial CEP; 2009.
- Ottawa Panel. Ottawa Panel Evidence-Based Clinical Practice Guidelines for Electrotherapy and Thermotherapy Interventions in the Management of Rheumatoid Arthritis in Adults. *Phys Ther* 2004;84(11):1016-43.
- Pérez Fernández MR. *Principios de Hidroterapia y Balneoterapia*. Madrid: McGraw Hill-Interamericana; 2005.
- Plaja A. *Analgesia por medios físicos*. Madrid: McGraw-Hill; 2003.
- Prentice WE. *Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva*. Barcelona: Paidotribo; 2001.
- Robinson V, Brosseau L, Casimiro L, Judd M, Shea B, Wells G, et al. Thermotherapy for treating rheumatoid arthritis. *Cochrane database of systematic reviews (online)* 2002;2:CD002826.
- Rodríguez Martín JM. *Electroterapia en Fisioterapia*. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2000.
- San José Arango C. *Hidrología Médica y Terapias Complementarias*. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2001.
- Seco J. *Física aplicada en Fisioterapia*. Salamanca: Gráficas Varona, S.A; 2004.
- Watson T. *Electroterapia. Práctica basada en la evidencia*. Barcelona: Elsevier-Churchill Livingstone; 2009.

Crioterapia

Javier Meroño*, Manuel Albornoz Cabello**

*Doctor en Fisioterapia por la Universidad de Sevilla. Profesor del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica San Antonio de Murcia

**Doctor por la Universidad de Sevilla. Profesor del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Definición y concepto de crioterapia 67

Visión panorámica de las publicaciones sobre crioterapia indexadas en Medline durante la última década (2002-2011) 68

Efecto primario y secundario del estímulo crioterápico 69

Efectos fisiológicos y terapéuticos de las aplicaciones de crioterapia 70

Efecto analgésico 70

Efectos vasculares 71

Efectos sobre el daño tisular secundario 72

Efecto sobre el edema y la hinchazón 72

Efectos sobre la acción muscular y la posición articular 73

Aplicaciones posquirúrgicas de la crioterapia 74

Otras recomendaciones

descritas en la literatura científica 75

Ginecología y obstetricia 75

Neurología 75

Administración de procedimientos de crioterapia 76

Metodología de aplicación

de los procedimientos crioterápicos

de tipo conductivo 76

Procedimientos crioterápicos

por inmersión 76

Procedimientos de crioterapia

administrados con hielo 77

Procedimientos de crioterapia aplicados

mediante envolturas y compresas frías 81

Procedimientos de crioterapia mediante

la aplicación de manguitos fríos 83

Metodología de aplicación

de los procedimientos de crioterapia

de tipo convectivo 84

Aerosoles, cloruro de etilo y fluoruro

de metano 84

Chorros de gas frío 85

Criocinética 85

Contraindicaciones 86

67

DEFINICIÓN Y CONCEPTO DE CRIOTERAPIA

Si tomamos como referencia la definición enunciada por Kenneth L. Knight (1996) y extendemos su contenido, podemos definir **crioterapia** como la aplicación de una o varias sustancias sobre el organismo que producen una disminución de la temperatura de los tejidos que actúa provocando una respuesta fisiológica con proyección terapéutica. El término crioterapia, comúnmente reconocido en el ámbito de las ciencias de la salud y del deporte como aplicación

terapéutica de frío, es uno de los procedimientos más extendidos y económicos utilizados para el control del dolor y de la inflamación. Sin embargo, como se expone a lo largo del presente capítulo, sus posibilidades terapéuticas e indicaciones pueden extenderse aún más, ampliando tanto el alcance de sus efectos fisiológicos como las diferentes modalidades y técnicas de aplicación disponibles al alcance de los fisioterapeutas.

A través del desarrollo del presente capítulo, pretendemos ofrecer al lector de la forma más sintética y clara posible, una visión panorámica de los diferentes efectos fisiológicos, así como de los procedimientos de crioterapia comúnmente utilizados en fisioterapia, tomando como referencia los textos y los artículos científicos a nuestro alcance, para dotar su contenido de la mayor objetividad y evidencia científica posible.

Somos conscientes, y así se ve reflejado también en la literatura científica, de que existen importantes controversias y limitaciones a la hora de estudiar mediante ensayos clínicos controlados (aleatorizados o no aleatorizados) el comportamiento y la efectividad de las aplicaciones de crioterapia, puesto que, en la mayoría de los casos, los tratamientos aplicados a los pacientes deben suministrar de manera simultánea otro tipo de intervenciones terapéuticas además de la aplicación de frío, y esto contamina o sesga los posibles resultados de la investigación. Del mismo modo, no existen referencias claras en cuanto a las metodologías de aplicación de los distintos procedimientos de crioterapia, tipo de agente que debe aplicarse, dosis o temperatura del agente, tiempo de aplicación, etc. Sí parece claro que el principal objetivo de las aplicaciones de crioterapia es el de reducir la temperatura de la zona de aplicación entre los 10 y los 15 °C (temperatura de la piel), pero no disponemos de referencias precisas sobre la frecuencia y la duración de las aplicaciones. Otro aspecto importante que debe destacarse es la escasa evidencia científica existente en relación con las cantidades de grasa subcutánea presentes en las diferentes regiones corporales y su relación con la capacidad de enfriamiento superficial de la piel, aspectos sin duda indispensables a la hora de determinar las características del procedimiento que debe aplicarse (MacAuley, 2001).

VISIÓN PANORÁMICA DE LAS PUBLICACIONES SOBRE CRIOTERAPIA INDEXADAS EN MEDLINE DURANTE LA ÚLTIMA DÉCADA (2002-2011)

En la literatura científica existen numerosas referencias a los diferentes procedimientos y técnicas de intervención terapéutica que se sirven de aplicaciones de crioterapia. En este sentido, el estudio completo de toda, o de la mayor parte de la bibliografía relacionada con este tema, sería inabarcable. Sin embargo, sí nos parece interesante ofrecer una visión panorámica de las publicaciones realizadas durante la última década e indexadas en Medline, por tratarse de una de las bases de datos internacionales más representativa relacionada con la investigación de naturaleza biomédica. Para ello, se realizó una búsqueda a través de la plataforma electrónica Medline/PubMed, con la intención de recuperar todos los artículos publicados en lengua inglesa durante los últimos 10 años que incluyesen en su título el término «cryotherapy», debiendo también cumplir el requisito de responder a estudios de investigaciones originales de tipo ensayo clínico controlado y no controlado (ya que entendemos que se trata de las publicaciones que presentan mayor evidencia científica). Todos los artículos recopilados debían cumplir también con la condición haber sido realizados en seres humanos. Bajo estos criterios de búsqueda se recopilaron un total de 100 artículos.

Como puede observarse en la figura 4.1, la mayor parte de los artículos recopilados (71%) no se corresponden con procedimientos terapéuticos de crioterapia que pertenezcan al ámbito competencial del fisioterapeuta, puesto que abordan temas relacionados con patología y tratamientos dermatológicos (35%), técnicas de tratamiento mediante endoscopia y otras intervenciones terapéuticas para afecciones del aparato digestivo (10%), tratamiento de pacientes con cáncer (15%), estudios pertenecientes al ámbito de la oftalmología (8%), cirugía renal (2%) y cardiología (1%). Estos artículos no han sido considerados para nuestro trabajo, pues

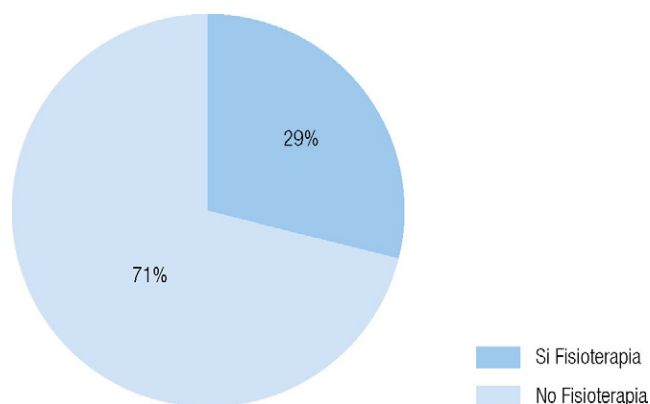


FIGURA 4.1 Porcentaje de artículos sobre crioterapia publicados en Medline durante los últimos 10 años vinculados al ámbito competencial de la fisioterapia.

se sirven de técnicas de crioterapia invasivas que, como se indicó con anterioridad, por sus características y naturaleza no son compatibles con el marco competencial del fisioterapeuta.

En el 29% de los artículos restantes que fueron seleccionados en función de la compatibilidad de las aplicaciones y los procedimientos de crioterapia con aquellos que son desarrollados por los fisioterapeutas, observamos cómo la mayor parte de las investigaciones se desarrollan en revistas vinculadas al ámbito de las ciencias del deporte y de las lesiones deportivas (9 artículos recopilados); también destacan las aplicaciones de crioterapia como coadyuvante en el control de la sintomatología asociada con procesos quirúrgicos del aparato locomotor (8 artículos). El resto de artículos reflejan el contenido de investigaciones que, desde diferentes especialidades médicas como ginecología, psiquiatría, neurología, odontología, reumatología, etc., se sirven del uso de agentes físicos de crioterapia con la intención de obtener un fin terapéutico o de ejercer una intervención preventiva. Se recopilaron también un total de 7 artículos que intentan comprobar cómo afecta la aplicación de agentes de crioterapia a diferentes funciones biológicas y fisiológicas como la temperatura de la piel, la capacidad de conducción nerviosa, la sensación de posición articular, etc.

EFFECTO PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL ESTÍMULO CRIOTERÁPICO

Las aplicaciones de crioterapia deben considerarse, en cierto modo, aplicaciones de termoterapia, puesto que provocan en el organismo un desequilibrio térmico. No obstante, resulta adecuado, para no introducir confusión terminológica en este sentido, reservar el término termoterapia para las aplicaciones que provocan un estímulo térmico de aumento de temperatura en el organismo, y destinar el término crioterapia para las que producen una disminución de la temperatura corporal.

Todo agente físico aplicado sobre el organismo producirá, en primera instancia, un efecto primario derivado del proceso de intercambio energético al interactuar con los tejidos. En el caso que nos ocupa, el agente crioterápico interactuará con la superficie corporal produciendo un efecto primario basado en el intercambio de energía térmica, en el que se causa una disminución de la temperatura de los tejidos. Las características de la región corporal, el tipo de aplicación, su intensidad y su duración, provocarán en el tejido una serie de manifestaciones y cambios fisiológicos de respuesta (efecto secundario) que serán los responsables del efecto terapéutico, siempre y cuando la aplicación de crioterapia sea capaz de producir el estímulo fisiológico adecuado.

Para que esto ocurra, en fisioterapia disponemos de numerosos procedimientos y técnicas de aplicación que favorecen la disminución de la temperatura de los tejidos corporales superficiales, y como se refleja en la figura 4.2, podemos agruparlos según sus diferentes modalidades de aplicación en procedimientos crioterápicos conductivos y convectivos.

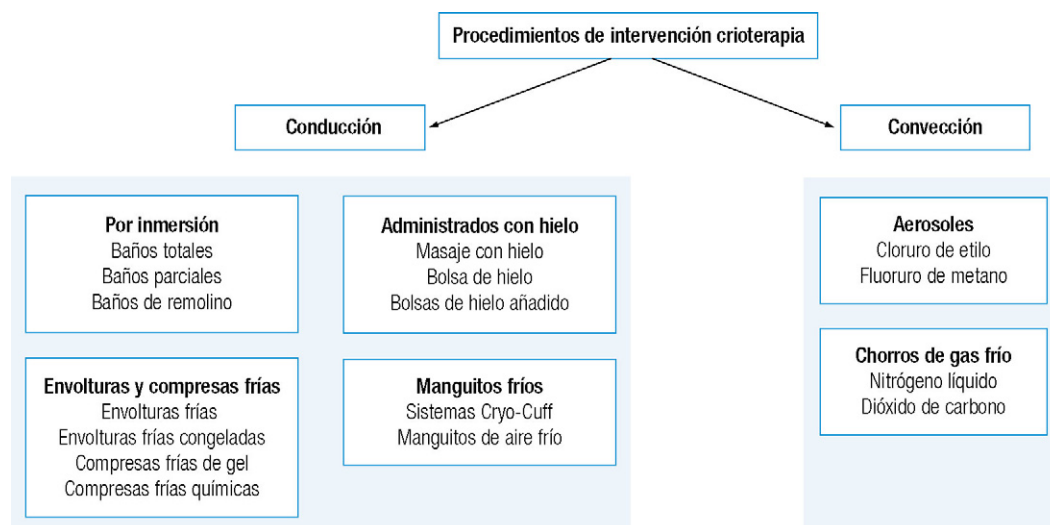


FIGURA 4.2 Clasificación de los diferentes procedimientos de crioterapia.

A diferencia de los procedimientos terapéuticos empleados en termoterapia, en crioterapia no disponemos de modalidades de aplicación que generen un estímulo profundo como en el caso de las radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia, ultrasonidos, etc. Por el contrario, con los procedimientos de aplicación de crioterapia siempre provocamos un estímulo cutáneo que hará disminuir la temperatura de los tejidos de superficial a profundo a través de pérdidas conductivas.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS Y TERAPÉUTICOS DE LAS APLICACIONES DE CRIOTERAPIA

Los efectos fisiológicos producidos en el organismo como consecuencia de la disminución de la temperatura de los tejidos (efecto primario) son los responsables de la acción terapéutica del agente físico crioterápico (efecto secundario).

De forma clásica, podemos destacar el empleo de los procedimientos de crioterapia en el tratamiento de urgencia de los procesos traumáticos y agudos, principalmente de tejidos blandos, con la intención de actuar frente a la inflamación y el dolor. En el manejo de este tipo de lesiones agudas se recomienda la administración del protocolo CRICER (crioterapia, elevación, contención y reposo), durante un período de tiempo que varía entre 12 y 72 horas (habitualmente 24-48 horas), aunque la duración de este protocolo de urgencia para el tratamiento de la fase aguda de la lesión dependerá de la intensidad y de la duración de la respuesta inflamatoria.

No obstante, y a pesar de su extendido uso clínico, las respuestas fisiológicas precisas de los procedimientos de crioterapia no han sido totalmente aclarados.

A través de los siguientes apartados, y con la intención de dotar el contenido del texto de mayor claridad y concreción, desarrollaremos de forma conjunta la exposición de los efectos fisiológicos y terapéuticos producidos por los procedimientos de crioterapia.

EFFECTO ANALGÉSICO

Sin duda, la acción analgésica derivada de las aplicaciones de crioterapia, sobre todo en procesos agudos, es uno de los efectos terapéuticos más conocidos y difundidos en la sociedad; del mismo modo, también se trata de uno de los efectos fisiológicos más estudiados en la literatura científica.

En general, los artículos estudiados reflejan una importante heterogeneidad en relación con el tipo de aplicación de crioterapia y sus características. No obstante, existe cierta evidencia en relación con el efecto analgésico de las aplicaciones de crioterapia, sobre todo a corto plazo, ya que esta acción parece prolongarse durante 15 o 30 minutos una vez que la aplicación ha cesado (Curkovic et al, 1993).

Para provocar analgesia, la temperatura de la piel debe disminuir hasta alcanzar los 14,4 °C (Starkey, 2001). Así, el dolor se interrumpe durante un tiempo comprendido entre 5 y 12 minutos (Hocutt, 1981). Estos valores pueden servirnos de referencia, pero no deben ser considerados de forma absoluta, puesto que varían según el tipo de aplicación utilizada y la región corporal en la que se produzca la intervención.

En el estudio realizado por Hopper (1997) para conocer la influencia de las inmersiones en agua fría sobre el sentido de posición articular, se observó que la mayoría de los sujetos experimentaron adormecimiento del pie y tobillo a partir del quinto o sexto minuto de inmersión en agua con hielo. Un minuto después de la inmersión, se identificó un promedio de temperatura de la piel de 15 °C y corresponde destacar que los sujetos sometidos al estudio no recuperaron la temperatura normal de la piel antes de 30 minutos, hecho que nos muestra la prolongación del estímulo crioterápico una vez que ha cesado la aplicación.

La disminución del dolor producida tras realizar una aplicación de crioterapia puede deberse a diferentes mecanismos de acción, entre los que se incluyen: modificaciones en la velocidad de conducción nerviosa, inhibición de los nociceptores, reducción del espasmo muscular y/o reducción de los niveles de actividad metabólica y enzimática (Saelki, 2002).

En este sentido, las modificaciones producidas en la capacidad de conducción nerviosa son uno de los mecanismos de acción más estudiados. En la investigación desarrollada por Amin y Keith (2006) se llevó a cabo una intervención sobre el nervio tibial posterior colocando aplicaciones de crioterapia en la región del tobillo. Los resultados del estudio revelaron que la crioterapia produjo una reducción del 33% en la velocidad de conducción nerviosa con respecto al valor basal. Según los autores, estos cambios se asociaron a un descenso de temperatura de la piel de 10 °C, lo que equivale a una disminución de 0,4 m/s de disminución de velocidad de conducción nerviosa por cada grado centígrado de temperatura que disminuye la piel. En su estudio, Amin y Keith identificaron también incrementos en el umbral de dolor y en los niveles de tolerancia al dolor por parte de los sujetos sometidos a aplicación de crioterapia.

En otra investigación anterior realizada por Chesterton et al (2002) también se analizaron los cambios producidos en la conducción nerviosa. Aunque los resultados obtenidos fueron, asimismo, favorables a la disminución de la capacidad de conducción nerviosa, los valores de temperatura difieren ligeramente de los del estudio de Amin y Keith, puesto que Chesterton et al identificaron como necesaria una disminución de la temperatura de la piel de 13,5 °C para reducir la velocidad de conducción nerviosa en un 10%, mientras que en el trabajo de Amin y Keith se obtuvo una mayor disminución de la velocidad de conducción nerviosa, del 15%, con temperaturas de la piel de 15 °C.

Parece que este fenómeno de disminución de la capacidad de conducción nerviosa se relaciona, en parte, con el hecho de que la disminución de temperatura afecta al intercambio entre el sodio y el calcio en las células neuronales (Reid et al, 2002).

EFFECTOS VASCULARES

Por todos es conocido que las aplicaciones de crioterapia tienen un claro efecto vasoconstrictor. No obstante, existen ciertos aspectos en relación con los efectos vasculares producidos por el frío que corresponde aclarar. La idea de aplicar frío durante los cuidados inmediatos que han de llevarse a cabo en presencia de un proceso agudo con la intención de disminuir la circulación sanguínea en la zona lesionada y reducir así la hemorragia y la hinchazón es una idea comúnmente extendida. Sin embargo, estos efectos han de ponerse en duda, puesto que, aunque la crioterapia genera vasoconstricción, no suele llegar a aplicarse antes de que actúen los

mecanismos de coagulación (Knight, 1996). Por tanto, poca influencia pueden tener las aplicaciones de crioterapia en relación con la reducción de la hemorragia extravasada al tejido.

Para provocar una disminución de flujo sanguíneo, la temperatura de la piel debe disminuir hasta alcanzar los 13,8 °C. El estímulo vasoconstrictor superficial puede acompañarse de un estímulo vasodilatador más profundo. Así, según Starkey (2001), parece ser que la vasodilatación profunda de la piel se produce entre los 12 y 15 minutos de aplicación, sin que se produzca un incremento del metabolismo.

En un estudio realizado por Knobloch et al (2007) se observó que las aplicaciones de crioterapia intermitente según en protocolos de 3 × 10 minutos realizadas con procedimientos de vendaje frío para el tobillo tipo KoldBlue producían una disminución estadísticamente significativa en el flujo sanguíneo capilar de la porción medial del tendón de Aquiles.

En otro estudio similar realizado en la misma porción media del tendón de Aquiles por Knobloch et al (2008), se evaluó de forma comparativa la respuesta vascular de dos aplicaciones de crioterapia: Cryo-Cuff (método que asocia compresión) y venda elástica fría tipo KoldBlue. Los resultados mostraron una disminución en el flujo de sangre capilar superficial y profunda del tendón en el primer minuto de aplicación con ambos tipos de procedimientos. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de procedimientos al finalizar los tres ciclos de aplicación de crioterapia. Finalmente, durante el período de recuperación, el flujo de sangre capilar superficial y profunda se restableció significativamente más rápido en los pacientes que recibieron la aplicación de Cryo-Cuff.

En relación con la respuesta vascular superficial y cutánea que se produce con la mayor parte de las aplicaciones de crioterapia, corresponde aclarar que generalmente la piel adopta un color pálido (palidez cutánea), consecuencia de la vasoconstricción. Sin embargo, esta respuesta no es absoluta, pues con algunos tipos de procedimientos, como en el caso de las aplicaciones de cubitos de hielo sobre la piel, es posible producir un enrojecimiento superficial de la piel, consecuencia de una reacción histamínica (Zohn et al, 1976) que parece vasodilatación, pero que no lo es (Plaja, 2005).

EFFECTOS SOBRE EL DAÑO TISULAR SECUNDARIO

Según Kenneth L. Knight (1996), «la expresión **lesión hipóxica secundaria** fue acuñada en 1976 para describir el daño tisular producido por la propia lesión aguda resultante de la práctica de algún deporte, como consecuencia de un desajuste secundario a la lesión aguda». Una vez que se ha producido el traumatismo, la situación de insuficiencia o disminución del oxígeno aportado a los tejidos periféricos o circundantes a la zona de lesión (células vecinas sanas no dañadas inicialmente) genera una serie de cambios metabólicos y enzimáticos que acaban produciendo una lesión secundaria en los tejidos vecinos sanos. Por este motivo es muy importante aplicar frío de forma precoz, puesto que así conseguiremos disminuir la actividad metabólica del tejido, y se permite a las células vecinas sanas adaptarse mejor a la situación de hipoxia, reduciendo, por tanto, la cantidad de lesión resultante.

La aplicación de crioterapia permite reducir el grado de lesión celular secundaria y minimizar así la respuesta inflamatoria (Merrick, 2002), hecho que puede asociarse también con la disminución de daños inflamatorios en el nervio (Houghlum, 1992).

El efecto de disminución de la temperatura de los tejidos y el control de la inflamación son beneficiosos para las articulaciones. Este aspecto debe ser especialmente considerado en presencia de procesos patológicos que cursen con inflamación crónica, pues investigaciones anteriores han demostrado que las elevaciones leves de la temperatura intraarticular pueden estimular la actividad de la enzima proteolítica, que tiene efectos perjudiciales en el cartílago articular (Osbaahr et al, 2002).

EFFECTO SOBRE EL EDEMA Y LA HINCHAZÓN

El edema postraumático, como el que se produce, por ejemplo, tras un esguince de tobillo (situación clínica muy frecuente en consultas de fisioterapia, sobre todo en el ámbito deportivo),

puede complicar también la extensión del daño tisular, lo que retrasa la cicatrización y puede dar lugar a cierto grado de inestabilidad crónica (Bleakley et al, 2007).

En un estudio elaborado por Deal et al (2002) se investigó la relación entre la crioterapia y el edema mediante la determinación de la permeabilidad microvascular antes y después de una contusión, con y sin terapia de hielo. En este estudio, realizado en ratas, la permeabilidad microvascular (edema) se evaluó mediante la medición de marcado con fluorescencia de albúmina en el líquido intersticial antes y después de la contusión. En las conclusiones del trabajo se argumenta que la aplicación de hielo disminuyó significativamente la permeabilidad microvascular posterior a la contusión producida en el músculo estriado. Los resultados de este estudio demostraron que la permeabilidad microvascular se incrementa después de una contusión que coincide con importantes interacciones leucocitos-endotelio. Sin embargo, la permeabilidad microvascular se redujo significativamente tras la aplicación del procedimiento de crioterapia.

Este hecho refuerza la idea de que la crioterapia es un procedimiento útil para evitar la producción del edema de origen postraumático. Sin embargo, la capacidad de las aplicaciones de frío para disminuir el edema una vez que éste ya se ha instaurado deben ponerse en duda.

En otro estudio realizado en pacientes sometidos a craneotomía, se observó que la aplicación de crioterapia tuvo un efecto estadísticamente significativo en el edema palpebral. La presencia de equimosis también fue menos frecuente en el grupo que recibió el procedimiento de crioterapia (11/48, 22,9%) en relación con el grupo control (26/49, 53,1%) (Shin et al, 2009).

EFFECTOS SOBRE LA ACCIÓN MUSCULAR Y LA POSICIÓN ARTICULAR

Existe una gran controversia alrededor del uso de la crioterapia antes de realizar una actividad física y, concretamente, antes de llevar a cabo ejercicios recuperadores o de rehabilitación. Mientras que el enfriamiento del músculo puede tener un efecto perjudicial en la función motora, el enfriamiento de la articulación puede mejorar el control motor de todo el conjunto muscular periarticular. Hopkins et al (2002), a través de un protocolo de crioterapia basado en la aplicación de una bolsa de hielo triturado colocada sobre el tobillo durante 30 minutos, observaron un aumento de la actividad del músculo durante el tiempo que duró la aplicación. Este efecto se mantuvo incluso durante los siguientes 60 minutos después del enfriamiento.

Ante la posibilidad de que una aplicación de crioterapia pueda afectar a la capacidad de respuesta muscular en relación con un posible desequilibrio o nuevo mecanismo de lesión al realizar un ejercicio de rehabilitación o un entrenamiento deportivo, corresponde destacar que no existen evidencias sólidas. El estudio de Berg et al (2009) nos muestra que la aplicación de crioterapia no parece afectar al tiempo de respuesta muscular. En este estudio, los autores compararon la reacción de la musculatura peronea ante desequilibrios de inversión máxima provocados en el tobillo, y después de la aplicación durante 20 minutos de un paquete de hielo. La conclusión obtenida fue que no hubo cambios estadísticamente significativos en la capacidad de respuesta de los peroneos en ningún momento después de la aplicación de crioterapia. Sin embargo, en el estudio de Kernozek et al (2008) sí se advierten diferencias en la capacidad de estabilización del tobillo que afectan a la variabilidad postural en pacientes que presentan un esguince de tobillo en relación con el tobillo contralateral sano, una variabilidad en la oscilación postural que se ve incrementada tras realizar una inmersión en agua fría durante 20 minutos.

Dover y Powers (2004) realizaron un estudio para conocer los efectos de la crioterapia en el sentido de posición articular del miembro superior, y observaron que, al aplicar una bolsa de hielo de 1 kg durante 30 minutos sobre el hombro dominante del paciente, no se producían cambios significativos en el sentido de la posición articular.

La combinación de crioterapia y ejercicios activos en presencia de patología degenerativa articular de rodilla puede ser una opción interesante. En este sentido, y en relación con la inhibición muscular artrogénica, el trabajo experimental de Rice et al (2009) sugiere que la aplicación de crioterapia reduce la inhibición muscular inducida por un proceso inflamatorio, de

tal modo que permite realizar de manera más precoz y efectiva ejercicios de fortalecimiento de cuádriceps en pacientes que presenten afecciones patológicas en la rodilla.

APLICACIONES POSQUIRÚRGICAS DE LA CRIOTERAPIA

Existen sólidas evidencias clínicas y de investigación para recomendar el uso de crioterapia tras cirugía ortopédica, pues disminuye la necesidad de tomar analgésicos y acelera la vuelta a caminar (Knight, 1996). En gran medida, el uso postoperatorio de crioterapia se relaciona con las acciones fisiológicas que favorecen el control de la actividad metabólica y, por tanto, de la respuesta inflamatoria, así como de su acción analgésica, aspectos que han sido revisados en los apartados anteriores. No obstante, en este apartado pretendemos completar la información anteriormente detallada con los resultados de investigaciones que evalúan la acción o la efectividad de los procedimientos de crioterapia tras una intervención quirúrgica.

Singh et al (2001) evaluaron la eficacia de las aplicaciones de crioterapia después de realizar una intervención quirúrgica del hombro, tanto mediante artroscopia como tras cirugía abierta. La muestra, que contó con 70 pacientes, fue dividida en dos grupos: control e intervención. Transcurrido un día desde la intervención quirúrgica, los pacientes sometidos a la aplicación de crioterapia notaron menos dolor durante la noche, más comodidad en la cama, mejor sueño y descanso que los sujetos del grupo control (aplicaciones cuya temperatura de la piel fue de 7,2 y 13 °C). Entre los días 7 y 21 después de la cirugía, también comunicaron una menor frecuencia e intensidad del dolor en general, así como durante las sesiones de rehabilitación. Tanto la aplicación de compresas frías (Everall, 1976) como de paquetes de hielo y de bloques de hielo (Schaubel, 1946; Scheffler, 1992), han demostrado ser útiles en el tratamiento de la sintomatología postoperatoria.

En la literatura científica también existe referencia a las aplicaciones de crioterapia para generar hipotermia local antes de la cirugía, ya que disminuirían la necrosis celular, la lesión producida por el torniquete de isquemia, el dolor posquirúrgico y el uso de narcóticos (Knight, 1996).

Sin embargo, en un estudio realizado en pacientes sometidos a cirugía artroscópica de muñeca por Meyer-Marcotty et al (2011), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el dolor, la movilidad y la inflamación entre un grupo de pacientes sometidos a un protocolo de crioterapia más compresión con sistema Cryo-Cuff y los pacientes pertenecientes al grupo control a las 3 semanas de la cirugía.

Woolf et al (2008) destacan el uso de aplicaciones de crioterapia continua con dispositivos de control de temperatura para el tratamiento del dolor nocturno y la mejora de la calidad de vida en el primer período después de la artroscopia de rodilla (Woolf et al, 2008).

Bohlooli et al (2007) compararon la eficacia tras una artroplastia total de rodilla de dos aplicaciones de crioterapia a diferente temperatura, 45 °F (7,2 °C) y 75 °F (23,8 °C). Aunque los sujetos que recibieron las aplicaciones de crioterapia a menor temperatura puntuaron más bajo en las escalas de dolor, los autores indican que los resultados no demuestran un efecto analgésico adicional de las aplicaciones de menor temperatura con respecto a las de mayor carga térmica.

La crioterapia es una modalidad terapéutica comúnmente utilizada después de los procedimientos quirúrgicos artroscópicos. Se ha demostrado que disminuye la temperatura intraarticular en todas las regiones de la rodilla después de la artroscopia. En el estudio realizado por Warren et al (2004) se plantearon como objetivo determinar si se producían descensos similares de temperatura intraarticular al aplicar crioterapia después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior, un procedimiento que, a diferencia de la artroscopia simple, produce hemartrosis postoperatoria. Los resultados del estudio mostraron reducciones de temperatura estadísticamente significativas en la región de la bolsa suprapatelar después de 8 horas, pero no en el compartimento lateral. La diferencia de temperatura en la región de la bolsa suprapatelar entre los pacientes que recibieron crioterapia frente a los que no la recibieron fue de 6,0 °C. En otro estudio similar realizado por Martin et al (2002) se observó una disminución

de la temperatura articular de la rodilla en pacientes sometidos a cirugía artroscópica en ausencia de hemartrosis. En esta investigación, se identificó una diferencia de 6 °C de temperatura entre el grupo que recibió la aplicación posquirúrgica de crioterapia durante la primera hora con respecto al grupo control.

En esta misma línea, Osbahr, Cawley y Speer (2002) publicaron los resultados de un estudio en el que se administró crioterapia continua a un grupo de pacientes sometidos a intervención quirúrgica de hombro destinada a la reparación del manguito de los rotadores, obteniendo resultados estadísticamente significativos en la reducción de la temperatura de la articulación glenohumeral, concretamente en el espacio articular glenohumeral y subacromial de los pacientes sometidos a la aplicación de crioterapia con respecto a los sujetos del grupo control.

Otro estudio realizado por Shin et al (2009) en 97 pacientes coreanos sometidos a craneotomía obtuvo resultados estadísticamente significativos en la reducción del dolor de cabeza posquirúrgico 3 días después de la intervención. Sin embargo, no encontraron diferencias estadísticamente significativas a las 3 horas después de la misma. El protocolo de crioterapia empleado en este estudio consistió en aplicar bolsas de hielo a las heridas quirúrgicas y paquetes de gel frío en las áreas periorbitales durante 20 minutos por hora, a partir de 3 horas después de la operación y durante los primeros 3 días.

En relación con los diferentes procedimientos de aplicación de crioterapia, aunque se detallarán con más precisión en los apartados siguientes, corresponde destacar que el uso de vendas de crepé de lana después de la cirugía de rodilla impediría la aplicación de crioterapia efectiva. Se recomienda, por tanto, siempre que sea posible, que se coloquen apósitos adhesivos delgados (Ibrahim et al, 2005).

OTRAS RECOMENDACIONES DESCRITAS EN LA LITERATURA CIENTÍFICA

Ginecología y obstetricia

Droegemuller (1980) recomienda la aplicación de baños de asiento para disminuir el dolor perineal en mujeres que han dado a luz mediante parto vaginal. En otro estudio de diferente naturaleza, Kong (2009) demostró que la crioterapia es una técnica segura y eficaz en el tratamiento de los problemas de sangrado después del coito. La técnica de crioterapia empleada fue con dióxido de carbono comprimido que se administró con una criosonda colocada en el cuello del útero.

Neurología

Boyras et al (2009) estudiaron la acción de las aplicaciones de crioterapia en pacientes con clonus de tobillo producido tras una lesión de las neuronas motoras superiores, encontrando cambios estadísticamente significativos tanto en las mediciones clínicas como en las electrofisiológicas en comparación con el grupo de pacientes que tomaron tizadinina y con los pacientes incluidos en el grupo control. Los pacientes fueron sometidos a 10 sesiones de baños de remolino a 15 °C durante 20 minutos que provocaron un efecto inhibitorio tanto en la intensidad del clonus de tobillo como en su frecuencia. Entre las explicaciones que los autores ofrecen a este fenómeno, se destaca que existe una persistencia del efecto inhibitorio incluso cuando el cuerpo recupera su temperatura, lo que sugiere la presencia de una acción en el sistema nervioso central, independientemente de la entrada de estímulos periféricos.

En la literatura científica se describen otras aplicaciones de crioterapia relacionadas con el tratamiento de pacientes neurológicos. Basset et al (1958) observaron una disminución de la espasticidad y del clonus en pacientes afectados de lesión de neurona motora superior con la aplicación de hielo picado envuelto en toallas húmedas, así como con la inmersión en agua fría, lo que produce una mejora de la funcionalidad. Hedenberg (1970) identificó mejoras significativas en la función del miembro superior en pacientes hemipléjicos tras aplicar baños de agua fría.

ADMINISTRACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CRIOTERAPIA

La mayoría de las aplicaciones y de los procedimientos crioterápicos utilizados en fisioterapia van a provocar en el paciente una secuencia de sensaciones antes de producir los efectos terapéuticos deseados, que el fisioterapeuta debe conocer y explicar siempre al paciente antes de la intervención, sobre todo para los debutantes o nuevos usuarios en un procedimiento.

Lo habitual es que al iniciar la aplicación de crioterapia, durante los primeros minutos, la sensación no se perciba de forma cómoda. Kenneth Knight describe este conjunto de sensaciones dentro del concepto de «dolor inducido por el frío».

La primera manifestación sensitiva que percibe el paciente inmediatamente al sumergir una parte del cuerpo en agua helada es frío. Comienza entonces a instaurarse una sensación progresiva de dolor cuya máxima intensidad normalmente aparece al minuto de la aplicación y suele disminuir durante el segundo minuto, de tal forma que la impresión de frío intenso puede durar de 1 a 3 minutos (Knight, 1996; Bleakley et al, 2007). A esta sensación le sigue otra de ardor, que puede variar entre 2 y 7 minutos; incluso si la aplicación de crioterapia es de agua inferior a 12 °C, el paciente puede percibir con claridad una sensación de «agujas o pinchazos». Después de esta sensación de pinchazos, la zona se adormece. La disminución del dolor aparecerá posteriormente, entre 5 y 12 minutos. Según el estudio realizado por Coca et al (2010), las sensaciones que mostraron las mujeres sometidas a su estudio tras la aplicación de diferentes procedimientos de crioterapia fueron: frío, sensación puntiforme, ardor, entumecimiento y analgesia.

La presencia de mayor tolerancia o sensibilidad a la aplicación de crioterapia, así como el reconocimiento por parte del paciente de estas fases de sensación, puede relacionarse tanto con la región corporal en la que se realice la aplicación como con la mayor o menor presencia de tejido graso subcutáneo. La información previa facilitada al paciente también parece influir en el reconocimiento por su parte de las diferentes sensaciones que va a experimentar durante la aplicación (Bleakley et al, 2007).

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS CRIOTERÁPICOS DE TIPO CONDUCTIVO

Procedimientos crioterápicos por inmersión

Entre las diferentes modalidades de aplicación de los procedimientos de crioterapia de tipo conductivo, se encuentran las que se realizan mediante la inmersión de parte o la totalidad del cuerpo del paciente en un recipiente, cubeta o bañera, con la intención de disminuir la temperatura de los tejidos. A este tipo de procedimientos se les denomina «baños», y según la cantidad de cuerpo sometido a inmersión reciben el nombre de totales o parciales. Los baños fríos pueden aplicarse también en combinación con una turbulencia, que favorece, además del estímulo térmico, la producción de un estímulo mecánico.

Baños totales

Tipos de baños que requieren al menos de la introducción de más de tres cuartas partes del cuerpo (extremidades inferiores, tronco y extremidades superiores). Las recomendaciones de temperatura para la administración de un baño total frío oscilan entre los 20 y los 22 °C, con una duración del baño comprendida entre 10 y 15 minutos. Estas aplicaciones descritas en la literatura se recomiendan sobre todo para disminuir la espasticidad (Aramburu, 1998).

Baños parciales

Suelen destinarse a la producción de un estímulo crioterápico local (una o varias extremidades al completo, o la región distal de una extremidad). La dosificación para un baño parcial supone una disminución de la temperatura en relación con el baño total, así como un posible aumento



FIGURA 4.3 Baño frío parcial.

del tiempo de aplicación del baño. En ese sentido se recomiendan baños a temperaturas comprendidas entre los 16 y los 18 °C y tiempos de toma del baño de 15 a 20 minutos. Durante la aplicación, se puede ir añadiendo hielo para mantener la temperatura estable (Aramburu, 1998) (fig. 4.3 y vídeo 1).

Baños parciales intermitentes

Otra modalidad de baño parcial es la que permite la posibilidad de realizar inmersiones intermitentes con aplicaciones más frías, con temperaturas de 10-15 °C y períodos de inmersión más cortos, de un minuto (Knight, 1996; Starkey, 2001).

Para la administración de baños parciales (Hüter-Becker et al, 2005) suelen emplearse pequeñas bañeras para manos conocidas como maniluvios o para los pies, pediluvios. No obstante, este tipo de aplicaciones son fáciles de improvisar en caso de necesidad, siempre y cuando se disponga de hielo, agua y cualquier recipiente que nos permita introducir de forma cómoda y segura la región corporal que va a tratarse.

Para un mejor ajuste de la dosis se puede contar con un termómetro que nos permita conocer la temperatura del agua en cada momento. En el caso de las aplicaciones de baños parciales de tipo intermitente, es posible, si no contamos con un termómetro auxiliar para controlar la temperatura del baño, tomar las siguientes referencias. Aplicar una mezcla de agua corriente fría y hielo en una relación proporcional de 2/3 a 1/3. La parte de cuerpo a tratar se introduce sólo durante medio minuto y posteriormente se aplican movimientos o ejercicios activos. Es el tipo de técnica de elección para el tratamiento de pie, tobillo, mano, antebrazo y codo (Hüter-Becker et al, 2005).

Baños de remolino

En el caso de disponer de baños de remolino, los criterios de aplicación del baño son idénticos a los descritos para los baños parciales, con la ventaja de que podemos realizar la aplicación aprovechando las turbulencias para generar un efecto masaje.

Procedimientos de crioterapia administrados con hielo

Aplicación local de hielo

Tanto en la literatura científica como en los diferentes manuales de tipo clínico consultados, existen importantes controversias en relación con la aplicación directa sobre la piel de hielo o de

bolsas y paquetes con hielo picado. En el corolario general de recomendaciones consultadas, se advierte la necesidad de aplicar aceites sobre la piel para disminuir la conducción térmica, sobre todo en el inicio de la aplicación, o la de colocar paños o toallas entre la piel del paciente y el agente crioterápico. Kenneth (1997) avala la posibilidad de realizar aplicaciones directas de hielo sobre la piel sin riesgo alguno y justifica este tipo de aplicaciones directas sobre el hecho de que los tejidos vivos no se congelan hasta alcanzar temperaturas de $-3,9^{\circ}\text{C}$. Por tanto, si la temperatura de un paquete de hielo de agua corriente es de 0°C , no es posible que se produzcan quemaduras. Esta argumentación permite entender que el hielo pueda ser aplicado directamente sobre la piel sin riesgo aparente, siempre y cuando la administración no se prolongue durante más de 30-60 minutos. Esta circunstancia no se produce de igual forma con el uso de paquetes comerciales de gel frío, puesto que su temperatura suele ser de varios grados bajo cero. Este argumento no evita que prestemos especial atención a las circunstancias particulares de cada paciente, así como a las regiones en las que exista una menor cantidad de tejido adiposo subcutáneo o prominencias óseas muy superficiales, ya que en estas zonas puede favorecerse la congelación.

Masaje con hielo

El masaje con hielo es más eficaz que las compresas frías (Taunton et al, 2001) y puede usarse en dolores localizados como puntos gatillo, tendinitis, fibromialgia o lumbago, entre otros. Además, el frío asociado con el masaje añade un efecto relajante. Para la realización de procedimientos de masaje con bloques de hielo se recomienda emplear vasos de plástico o de papel de 150-300 ml de capacidad. Para aplicarlo sin que nuestras manos sufran un descenso de temperatura, podemos colocar un depresor lingual de forma previa a la congelación del bloque o ir recortando el vaso de plástico durante la aplicación. Otra posibilidad es la de colocar el bloque de hielo dentro de una toalla o gamuza de papel, dejando la zona de aplicación al descubierto.

Masaje con hielo aplicado con fines analgésicos

Este tipo de masaje suele realizarse con el uso de cubitos sólidos que se han formado junto con una espátula de madera o que están envueltos en un vaso de plástico. El cubo de hielo se debe desplazar por la zona de aplicación realizando movimientos lentos y circulares durante 5-10 minutos. El paciente percibirá diferentes sensaciones hasta que se produzca la analgesia: frío, quemazón, ligero dolor y, por último, pérdida de sensibilidad (Aramburu, 1998).

Masaje con hielo aplicado para el tratamiento de una contractura muscular

En este caso se recomienda realizar frotaciones de forma repetida sobre el músculo y en líneas paralelas del origen a la inserción o desde el punto gatillo hacia su territorio de irradiación. Las fricciones con hielo se han de realizar sin aplicar presión y la duración también será de 5-10 minutos. Posteriormente se han de realizar elongaciones pasivas del músculo (Zohn et al, 1976) (fig. 4.4 y vídeo 2).

Masaje con hielo para el tratamiento de un punto doloroso

Se suele pincelar o trabajar sobre una zona de unos 15cm^2 , mediante movimientos lentos en realizados espiral. De forma general, se recomienda evitar un exceso de aplicación en zonas con poco tejido adiposo o de prominencias óseas, predispuestas a la congelación local. El tiempo de aplicación depende de la reacción cutánea necesaria para alcanzar entumecimiento y disminución de la sensibilidad: sensación de frío, quemazón, ligero dolor son las fases sensitivas previas a la analgesia (Witting et al, 1997). Si la fase de dolor o quemazón se prolonga durante más de 3 minutos sin presencia de hipostesia o existe cianosis, es posible que el paciente manifieste una acción adversa al frío, hecho que contraindica su aplicación. A diferencia de la almohadilla, la aplicación del cubito no genera palidez cutánea por vasoconstricción, sino un ligero



FIGURA 4.4 Masaje con hielo aplicado para el tratamiento de una contractura muscular.



FIGURA 4.5 Masaje con hielo aplicado para el tratamiento de un punto doloroso.

enrojecimiento intenso por reacción histamínica (Zohn et al, 1976), que parece vasodilatación pero no lo es (fig. 4.5 y vídeo 3).

Bolsas de hielo o paquetes de hielo

Las aplicaciones de crioterapia con bolsa de hielo, además de económicas, cómodas y prácticas, suelen ser bastante toleradas por parte de los pacientes. En el estudio realizado por Nóbrega et al (2003), el 90,6% de los pacientes que fueron tratados con bolsa de hielo no manifestaron ningún tipo de síntoma asociado con la aplicación, tan sólo el 9,4% se quejó de una ligera sensación de ardor durante el primer minuto.

Procedimiento de aplicación

Se recomienda introducir hielo picado (en lugar de cubos grandes de hielo) en una bolsa de plástico para poder adaptarse mejor a la superficie corporal. Una vez que hemos llenado la bolsa con el hielo, se debe eliminar el aire de ésta para que no se dificulte la conducción en el proceso de transferencia térmica. El tamaño más adecuado de una bolsa es de 4-5 litros de capacidad. Se puede colocar una toalla húmeda envolviendo la bolsa y una ligera capa de aceite en la piel para que el enfriamiento se produzca de forma más lenta. La aplicación ha de mantenerse durante unos 15-20 minutos y se recomienda revisar la respuesta de la piel durante los primeros 5 minutos (Aramburu, 1998). Hay que colocar una manta o toalla para generar



FIGURA 4.6 Secuencia de aplicación de un paquete de hielo. 1. Colocación del paquete de hielo. 2. Fijación con venda elástica (crepé). 3. Creación del campo de aislamiento termal con toalla y ligera elevación del miembro.

un campo de aislamiento termal. Se recomienda elevar la zona de tratamiento unos 15-20 cm por encima de la altura del corazón del paciente (Knight, 1996). El paquete de hielo puede asegurarse con una venda elástica de 15-20 cm de ancho (fig. 4.6 y vídeo 4).

Se debe aprovechar la venda elástica que fija la aplicación para provocar una ligera compresión, puesto que la asociación de crioterapia más compresión favorece el enfriamiento de los tejidos. En el estudio realizado por Tomchuk et al (2010), se analizaron tres procedimientos diferentes de aplicación de paquetes de hielo, uno sin compresión y dos aplicaciones a las que se les asoció compresión con venda elástica y a otro grupo se le administró compresión con film plástico (tipo Flex-i-Wrap). El estudio ofreció resultados estadísticamente significativos a favor de la compresión con venda elástica. A los 10 minutos de la aplicación, las disminuciones de temperatura según aplicación fueron: paquete de hielo sin compresión (1,34 °C), compresión con film de plástico (2,46 °C) y compresión con venda elástica (2,73 °C), respectivamente. A los 25 minutos, las vendas elásticas produjeron una mayor disminución de temperatura (8,03 °C), seguidas de las aplicaciones de film plástico (6,65 °C). Las aplicaciones de crioterapia sin compresión ofrecieron una menor disminución de la temperatura de los tejidos (4,63 °C). Estas diferencias se mantuvieron durante toda la aplicación de hielo y hasta 50 minutos después de la retirada de la bolsa de hielo (Tomchuk et al, 2010).

En cuanto a la dosificación, Knight (1996) indica que la aplicación de los paquetes de hielo debe realizarse atendiendo a la siguiente secuencia: aplicar hielo cada 2 horas y durante unos 30 minutos (30-45 min), destacando que las aplicaciones más largas no generan mayor beneficio. Esta dosificación, en presencia de una lesión traumática aguda, permite obtener un efecto acumulativo que causará un descenso de la temperatura de los tejidos. En función de la cantidad de lesión o de traumatismo, las aplicaciones pueden mantenerse entre 12 y 72 horas, hasta que la fase inflamatoria aguda haya pasado.

Aplicaciones de paquetes de hielo continuas frente a aplicaciones intermitentes

Entre otras recomendaciones, Bleakley et al (2007) proponen que antes de la aplicación de una bolsa de hielo se introduzca el paquete en agua caliente durante 30 segundos y posteriormente se envuelva en un paño húmedo (Bleakley et al, 2007). Estos autores proponen dos tipos de aplicaciones: la denominada estándar, con una duración de la aplicación de 20 minutos cada 2 horas, aplicación defendida en los trabajos de Swenson et al (1996) y de Kerr et al (1997), y la aplicación intermitente, que responde a la secuencia de 10 minutos de aplicación, 10 minutos de descanso y, posteriormente, otros 10 minutos de aplicación. En esta modalidad de aplicación intermitente también ha de repetirse el procedimiento cada 2 horas. En un estudio comparativo de los dos procedimientos (Bleakley et al, 2007), en el de aplicación estandarizada e intermitente, estos autores encontraron mejoras significativas en ambos grupos, tanto

en la disminución del dolor como en la función y en la hinchazón, aunque los individuos sometidos a las aplicaciones intermitentes percibieron, en general, menos dolor una semana después de haberse producido la lesión (esguince de tobillo). Se argumenta, por tanto, que las aplicaciones intermitentes pueden aumentar el efecto terapéutico del hielo después de una lesión aguda de tejido blando.

Bolsas de hielo añadido

Se trata de aplicar paquetes de hielo que favorezcan la producción de un estímulo más intenso. Este tipo de aplicaciones consisten en mezclar de hielo picado al que se le añaden sal o etanol. Así se disminuirá el punto de solidificación del agua al introducirla en el congelador. Este tipo de mezcla produce un enfriamiento muy rápido; por este motivo no se aplicará durante más de 10 minutos (Aramburu, 1998). Esta aplicación puede mejorarse con una mezcla de dos partes de agua y una de alcohol, que actúa como anticongelante y permite enfriarla directamente en el congelador sin tener que renovarla para una nueva aplicación (Plaja, 2005).

Procedimientos de crioterapia aplicados mediante envolturas y compresas frías

Envolturas frías

La envoltura fría es un procedimiento sencillo de aplicar y habitualmente suele utilizarse para producir enfriamiento de grandes áreas corporales. Clásicamente se ha empleado tanto en clínica como en el domicilio con fines antipiréticos. Para aplicar este procedimiento, se prepara un recipiente con agua y hielo y se humedece en él una toalla, escurriendo posteriormente el exceso de agua. La primera toalla aplicada se mantiene durante un minuto y posteriormente se retira para repetir el procedimiento. A partir de la segunda toalla, el tiempo de aplicación de cada paño será de unos 2-3 minutos hasta completar un total de 20 minutos. Este procedimiento permite, además, que el paciente pueda realizar ejercicios durante su aplicación (fig. 4.7 y vídeo 5).

Envolturas frías congeladas

Otra modalidad de aplicación de envoltura fría es la de Hüter-Becker et al (2005) de empapar toallas o lienzos en una solución salina simple (1 kg de sal en 5 l de agua) y posteriormente introducirla en el congelador (antes escurridas) a una temperatura de 15 °C. Para evitar que se peguen unas con otras, se colocan plásticos que favorezcan su separación. Antes de emplear la



FIGURA 4.7 Aplicación de una compresa húmeda.

toalla se enjuaga ligeramente con agua fría y después se amolda a la superficie corporal, ya que el uso de agua con sal hace que la toalla se endurezca demasiado. En el tiempo intermedio de los cambios de toalla se pueden administrar movimientos activos o pasivos.

Compresas frías comerciales de gel

Compresas de material plástico que contienen en su interior gel de silicato mezclado con una pequeña cantidad de agua para evitar su solidificación, manteniendo la compresa flexible para así poder adaptarla a la zona de aplicación (Aramburu, 1998). Se introducen en el congelador a temperaturas que pueden oscilar entre los 12 y 18 °C (según tipo de compresa). En congeladores con termostato, la temperatura adecuada para la aplicación de este tipo de compresas es de -7 °C (Hüter-Becker et al, 2005). Es el tipo de aplicación de crioterapia más sencillo y resulta ideal para tratamiento domiciliario (Plaja, 2005; Hüter-Becker et al, 2005) (fig. 4.8 y vídeo 6). Este tipo de compresas frías de gel de sílice mantienen mejor el frío que el agua, lo que hace a esta aplicación superior a la de las bolsas de hielo. La metodología de aplicación es sencilla, ya que se preparan en el frigorífico antes de su primer uso durante unas 24 horas y posteriormente será suficiente con 30 minutos de enfriamiento después de cada uso para volver a aplicarlas. Se deben aplicar envueltas en una toalla fina o paño previamente humedecido. Del mismo modo, se recomienda fijarlas con velcro y cubrir la aplicación con lana o plástico para favorecer la acción del procedimiento. Según el nivel de sensibilidad del paciente a la aplicación, podemos modificar ligeramente alguna de estas sugerencias. Por ejemplo, ante la presencia de pacientes con mucha sensibilidad al frío se puede empapar un paño fino previamente con agua templada, lo que amortigua el efecto inicial e intenso de la aplicación del paquete de frío, y permite una actuación más paulatina.

El tiempo estimado por aplicación será de unos 15 minutos. No obstante, el efecto del estímulo frío seguirá siendo efectivo después de la aplicación pues el enfriamiento eficaz permanece durante 15 minutos después de la retirada de la compresa (Weston et al, 1994; Plaja, 2005). Es recomendable levantar la almohadilla a los 5 minutos para comprobar cómo reacciona la piel y, como en el caso de los procedimientos anteriores, los intervalos de tiempo que deben guardarse entre dos aplicaciones pueden ser de 2 horas, ya que es mejor dar tiempo a que se recuperen los tejidos para evitar la acción acumulativa que conllevaría un riesgo de lesión por congelación (Aramburu, 1998; Cameron, 1999). Sin embargo, Hüter-Becker (2005) establece la posibilidad de aplicar tiempos de tratamiento más largos y variables, que pueden oscilar entre 5 y 30 minutos.

Otro aspecto que debe destacarse en las compresas reutilizables es la desinfección, puesto que ésta debe realizarse de forma habitual con la ayuda de un pulverizador y un producto de desinfección común. Este tipo de aplicaciones de paquetes de gel son potencialmente más peligrosas que las aplicaciones de paquetes de hielo, sobre todo cuando se administran junto con compresión.

En el análisis de la efectividad de este procedimiento en comparación con otros anteriormente descritos, hay que destacar que las compresas frías comerciales han demostrado ser más



FIGURA 4.8 Secuencia de aplicación de un Cold-Pack de gel. 1. Colocación del Cold-Pack sobre una gamuza de papel. 2. Creación del campo de aislamiento térmico con toalla. 3. Fin de la aplicación.

efectivas en relación con la disminución de la temperatura de la piel. Belitsky et al (1987) compararon tres tipos de aplicaciones de crioterapia realizadas sobre el tríceps braquial. Tras 15 minutos de aplicación con cada uno de los procedimientos utilizados, observaron que la temperatura de la piel había disminuido hasta los 12 °C en las aplicaciones de agua con hielo, a 9,9 °C en las aplicaciones de paquetes de hielo y a 7,3 °C con la administración de una compresa de frío comercial, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos por las aplicaciones de compresas comerciales y los demás procedimientos de aplicación.

El mayor enfriamiento producido por los paquetes de gel podría sugerir el uso de un menor tiempo en su aplicación. Así, en otra investigación realizada por Coca et al (2010) sobre la aplicación comparativa de tres aplicaciones de crioterapia en la región del muslo de mujeres no embarazadas, se observó que después de 15 minutos de aplicación de bolsas de gel se alcanzó una temperatura media de 3,8 °C, muy por debajo de los 7,2 °C obtenidos mediante el uso de un procedimiento de crioterapia basado en agua con hielo.

Sin embargo, en otras investigaciones, como la llevada a cabo por Kennet et al (2007), se evaluaron cuatro aplicaciones: bolsas de hielo, hielo picado en agua, bolsa de guisantes y compresas de gel durante 20 minutos. Se observó que el hielo picado y la inmersión en hielo muestran mayores diferencias en la disminución de la temperatura de la piel de la región del tobillo ($19,56 \pm 3,78$ °C y $16,99 \pm 2,76$ °C) en comparación con la bolsa de gel ($13,19 \pm 5,07$) y la bolsa de guisantes ($14,59 \pm 4,22$).

Compresas frías químicas

Se trata de bolsas o compresas flexibles divididas en dos compartimentos que contienen nitrato de amonio y agua, respectivamente, y que, al unirse, mediante una reacción endotérmica, generarán frío en el interior de la compresa. Producen enfriamiento durante unos 20 minutos aproximadamente. Como precaución, deben aplicarse sobre una toalla húmeda para prevenir posibles quemaduras por el frío. Mientras que la toalla se mantiene húmeda, ésta se opone a la congelación asegurando que la superficie de la piel que se encuentra en contacto con la región en la que se administra el procedimiento no descenderá de los 0 °C (fig. 4.9 y vídeo 7).

Procedimientos de crioterapia mediante la aplicación de manguitos fríos

Existen diferentes procedimientos de aplicación de crioterapia mediante sistemas de manguitos fríos.

1. Sistemas tipo *Cryo-Cuff*. Sistemas sencillos y eficaces de crioterapia que combinan enfriamiento y compresión. Se componen de dos elementos básicos: una nevera portátil o refrigerador y unas envolturas conectadas al refrigerador por las que circula el agua fría. El



FIGURA 4.9 Secuencia de aplicación local de crioterapia de un Cold-Pack químico.

sistema de nevera es portátil y desconectable que permiten una autonomía del tratamiento de hasta 3 horas de tratamiento frío continuo. Funcionan por efecto de la gravedad. Los diferentes manguitos o envolturas están especialmente diseñados para adaptarse a la articulación de la manera más confortable y generando el máximo beneficio.

2. Existen también aparatos y sistemas con manguitos que generan corrientes de aire frío, que también se adaptan a las diferentes regiones corporales y que consisten en un sistema de corriente de aire frío que hincha el manguito permitiendo tratamientos segmentarios y generales de las extremidades y de grandes regiones corporales. El equipo aplicará de forma continua una temperatura que puede seleccionarse previamente entre valores de -7 y $+24$ °C. La temperatura marcada se mantendrá constante.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CRIOTERAPIA DE TIPO CONVECTIVO

Aerosoles, cloruro de etilo y fluoruro de metano

Existen diferentes tipos de aerosoles y pulverizadores, como el cloruro de etilo y fluorurometano que, al evaporarse y entrar en contacto con la piel, le restan calor produciendo un estímulo crioterápico. Debido a su rápida evaporación, sus efectos son muy superficiales y de corta duración. No obstante, podemos aprovecharnos del estímulo frío que producen, de forma combinada con maniobras pasivas de estiramiento para luchar contra el espasmo muscular producido como consecuencia de una hiperactividad gamma o para completar el tratamiento manual o invasivo (mediante punción seca) de puntos gatillo miofasciales (fig. 4.10 y vídeos 8 y 9).

Este tipo de aerosoles también son frecuentemente utilizados en el ámbito del deporte para el tratamiento inmediato de dolor tras un golpe o contusión.

Procedimiento de aplicación para producir analgesia tras un traumatismo

Se recomienda pulverizar sobre la zona que debe tratarse a una distancia de unos 45 cm y mientras se mantiene el atomizador en posición vertical procurando realizar rociados de 5 segundos de duración dos o tres veces, con intervalos de unos segundos entre unos y otros. Los trazos se administrarán longitudinales a la dirección de las fibras musculares. Se debe tener especial cuidado en las aplicaciones cercanas a los ojos y también con la posibilidad de que el paciente o el fisioterapeuta puedan inhalar el aerosol (Curkovic, 1993). Otra forma de aplicación descrita en la literatura es la de mantener el recipiente a unos 30 cm y proyectar el chorro hacia la zona que va a tratarse. En este caso, se debe cubrir toda esta zona realizando proyecciones «en abanico» y a razón de 10 cm por segundo. Se recomienda hacer el barrido en una sola dirección y continuar de una manera rítmica hasta cubrir toda el área dos veces.

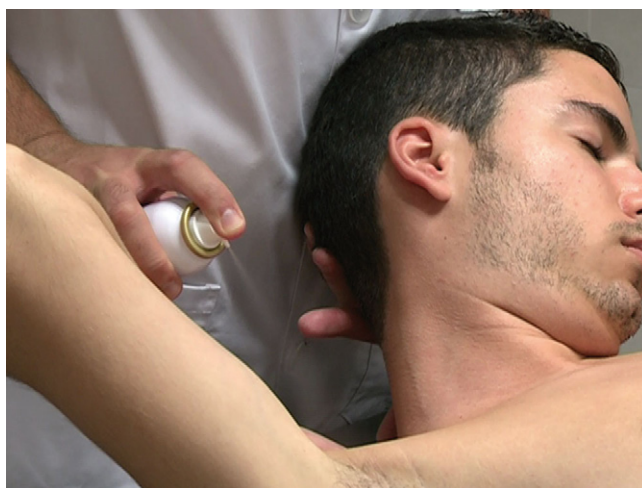


FIGURA 4.10 Aerosol frío más estiramiento aplicado sobre el músculo angular de la escápula.

Otra referencia útil para determinar la velocidad de desplazamiento del aerosol (especialmente en las aplicaciones de cloruro de etilo) es observando cómo se forma una ligera escaracha en la piel, lo que nos indica la necesidad de desplazamiento.

Chorros de gas frío

En el ámbito de la fisioterapia y la rehabilitación existen diferentes procedimientos para aplicar gas frío; destacan, sobre todo, los procedimientos terapéuticos de agentes refrigerantes, como el dióxido de carbono (fase líquida de CO₂) o de nitrógeno líquido (LN₂), que alcanzan temperaturas de -75 °C con el CO₂ y hasta -160 °C con el LN₂.

Se trata de aplicaciones cómodas y sencillas de realizar, de tal forma que nos permiten obtener una mayor y más rápida disminución de la temperatura de tejido, ya que en aplicaciones muy cortas la temperatura de la piel puede disminuir hasta 0 °C.

Estos procedimientos se administran en forma de vapor, tomando la precaución de que la boquilla difusora del gas frío se encuentre a 10-15 cm de distancia. Las zonas cercanas a la aplicación que no van a ser tratadas deben cubrirse con un paño. Pueden emplearse captosres de temperatura para controlar que en todo momento la aplicación se encuentre en valores comprendidos entre 0 y 4 °C. La técnica se realiza moviendo de forma constante y lenta la boquilla de la aplicación, evitando que se realicen aplicaciones estáticas (1-3 minutos por aplicación y de 10-15 sesiones, que pueden ser diarias). En el tratamiento muscular se realizarán movimientos arriba-abajo en dirección longitudinal a las fibras musculares, y en dolores puntuales, movimientos circulares (Aramburu, 1998). No obstante, dependiendo del tipo de equipo y de sus características, se recomienda para este conjunto de procedimientos seguir las indicaciones de los fabricantes. Este tipo de aplicaciones favorecen la producción de analgesia debido a su capacidad para estimular la liberación de endorfinas, y resultan especialmente útiles para el tratamiento de procesos inflamatorios, así como para la disminución del tono muscular.

CRIOCINÉTICA

Consideramos importante incluir en este capítulo un apartado destinado a la revisión de las aplicaciones combinadas de crioterapia y ejercicio físico, asociación que tradicionalmente ha sido denominada criocinética (*criokinetics*). Aunque numerosos estudios destacan la importante relación entre crioterapia y ejercicio físico, sobre todo orientada al tratamiento en fase subaguda de lesiones de tejidos blandos, antes deben considerarse también ciertos aspectos como la acción del frío en la capacidad de respuesta muscular, ya que la posible alteración de los patrones de control neuromuscular pueden ser generadores potenciales de un mayor riesgo de lesión (Bleakley et al, 2007). Por el contrario, otros estudios como el de Melnyk et al (2006), han demostrado que las aplicaciones de hielo no afectan negativamente a la actividad del reflejo miotático. En el estudio de estos autores, y tras una aplicación de crioterapia de 20 minutos, se concluyó que la terapia con frío no parece influir de manera negativa en los reflejos espinales de los músculos isquiotibiales inducidos por los movimientos de tracción posteroanterior, lo que les llevó a determinar que no es probable que las aplicaciones de crioterapia aumenten el riesgo de lesión en la rodilla.

En esta misma línea, el estudio realizado por Hopper (1997) sugiere que la aplicación clínica de la crioterapia no es perjudicial para la identificación del sentido de posición articular, lo que permite justificar la idea de combinar y simultanear ejercicios con procedimientos de crioterapia.

No obstante, y como afirman Bleakley et al (2007), es lógico que se den importantes discrepancias en este sentido, pues existe una gran variabilidad en los protocolos utilizados en la literatura científica. Entre los principales elementos de discrepancia encontramos lugar, modalidad y tiempo de aplicación. Estos factores, además de la cantidad de grasa corporal subcutánea presente en cada uno de los individuos, determinarán el grado de enfriamiento en estructuras superficiales y profundas y, por tanto, tendrán una implicación directa en la proyección de los efectos fisiológicos.

CONTRAINDICACIONES

En pacientes en los que podemos sospechar cierta intolerancia al frío, se puede realizar una sencilla prueba que consiste en aplicar un masaje con un cubo de hielo durante 3 minutos y observar la reacción que se produce en la zona. Si la piel se enrojece ligeramente, no habrá problema. Sin embargo, si la piel del paciente responde con la aparición de una roncha que cubre el área tratada, el test es positivo, lo cual indica que el paciente sufre urticaria al frío.

La crioterapia presenta pocas contraindicaciones (Knight, 1996); no obstante, debe tenerse en cuenta que está contraindicada de forma absoluta en la enfermedad de Raynaud u otros trastornos vasomotores, hipersensibilidad al frío y urticaria al frío. También es una contraindicación relativa la presencia de problemas cardiovasculares y de alteraciones de la sensibilidad.

Bibliografía

- Amin A, Keith P. The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *Br J Sports Med* 2007;41:365-9.
- Aramburu C, Muñoz E, Igual C. Electroterapia, termoterapia e hidroterapia. Madrid: Editorial síntesis S. A.; 1998.
- Bassett SW, Lake BS. Use of cold applications in the management of spasticity: report of three cases. *Phys Ther Rev* 1958;38:333-40.
- Belitsky RB, Odam SJ, Hubley-Kozey C. Evaluation of effectiveness of wet ice, dry ice, and cryogen packs in reducing skin temperature. *Phys Ther* 1987;67(7):1080-4.
- Berg CL, Hart JM, Palmieri-Smith R, Cross KM, Ingersoll CD. Cryotherapy does not affect peroneal reaction following sudden inversion. *J Sport Rehabil* 2007;16(4):285-94.
- Bleakley CM, McDonough S, MacAuley DC. Cryotherapy for acute ankle sprains: a randomised controlled study of two different icing protocols. *Br J Sports Med* 2007;41:365-9.
- Bleakley CM, O'Connor S, Tully MA, Rocke LG, MacAuley DC, McDonough SM. The PRICE study (Protection Rest Ice Compression Elevation): design of a randomised controlled trial comparing standard versus cryokinetic ice applications in the management of acute ankle. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2007;8:125.
- Boyras I, Oktay F, Celik C, Akyuz M, Uysal H. Effect of cold application and tizanidine on clonus: clinical and electrophysiological assessment. *J Spinal Cord Med* 2009;32(2):132-9.
- Chesterton LS, Foster NE, Roos L. Skin temperature response cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:546-9.
- Coca L, Bianchi RC, Juinqueira SM. Clinical train comparing three types of cryotherapy in non-pregnant women. *Rev Esc Enferm USP* 2010;44(2):337-43.
- Curkovic B, Vitulic V, Babic-Naglic D, et al. The influence of heat and cold on the pain threshold in rheumatoid arthritis. *Z Rheumatol* 1993;52:289-91.
- Deal DN, Tipton J, Rosencrance E, Curl WW, Smith TL. Ice reduces edema: A study of microvascular permeability in rats. *J Bone Joint Surg* 2002;84-A:1573-8.
- Dover G, Powers ME. Cryotherapy does not impair shoulder joint position sense. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85(8):1241-6.
- Droegemuller W. Cold sitz baths for relief of postpartum perineal pain. *Clin Obstet Gynecol* 1980;23(4):1039-43.
- Everall M. Cold therapy. *Nurs Times* 1976;70:144-6.
- Glenn Jr RE, Spindler KP, Warren TA, McCarty EC, Secic M. Cryotherapy decreases intraarticular temperature after ACL reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 2004;421:268-72.
- Hedenberg L. Functional improvement of the spastic hemiplegic arm after cooling. *Scand J Rehabil Med* 1970;2:154-8.
- Hocutt JE. Cryotherapy. *Am Fam Phys* 1981;23(3):141-4.
- Hopkins JT, Stencil R. Ankle cryotherapy facilitates soleus function. *J Orthop Sports Phys Ther* 2002;32(12):622-7.
- Hopper D, Whittington D, Davies J. Does ice immersion influence ankle joint position sense?. *Physiother Res Int* 1997;2:223-36.
- Houghlum PA. Soft Tissue healing and its impact on rehabilitation. *J Sports Rehabil* 1992;1:19-39.
- Hüter-Becker A, Schewe H, Heipertz W. Terapia Física. Barcelona: Ed. Paidotribo; 2005.
- Ibrahim T, Ong SM, Saint-Clair-Taylor GJ. The effects of different dressings on the skin temperature of the knee during cryotherapy. *Knee* 2005;12(1):21-3.
- Kennet J, Hardaker N, Hobbs S, Selfe J. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train* 2007;42(3):343-8.
- Kenneth LK. Crioterapia. Rehabilitación de las lesiones en la práctica deportiva. Barcelona: Ed. Bellaterra; 1996.
- Kernozek TW, Greany JF, Anderson DR, Van Heel D, Youngdahl RL, Benesh BG, et al. The effect of immersion cryotherapy on medial-lateral postural sway variability in individuals with a lateral ankle sprain. *Physiother Res Int* 2008;13(2):107-18.
- Kerr KM, Daily L, Booth L. Guidelines for the management of soft tissue (musculoskeletal) injury with protection, rest, ice, compression and elevation (PRICE) during the first 64 hours. London: Chartered Society of Physiotherapy; 1999.

- Knobloch K, Grasmann R, Spies M, Vogt PM. Intermittent KoldBlue cryotherapy of 3×10 min changes mid-portion Achilles tendon microcirculation. *Br J Sports Med* 2007;41(6).
- Knobloch K, Grasmann R, Spies M, Vogt PM. Midportion achilles tendon microcirculation after intermittent combined cryotherapy and compression compared with cryotherapy alone: a randomized trial. *Am J Sports Med* 2008;36(11):2128-38.
- Kong GW, Yim SF, Cheung TH, Chung TK. Cryotherapy as the treatment modality of postcoital bleeding: a randomized clinical trial of efficacy and safety. *Aust N Z J Obstet Gynaecol* 2009;49(5):517-24.
- MacAuley DC. Ice therapy: how good is the evidence? *Int J Sports Med* 2001;22(5):379-84.
- Martin SS, Spindler KP, Tarter JW, Detwiler KB. Does cryotherapy affect intraarticular temperature after knee arthroscopy? *Clin Orthop Relat Res* 2002;400:184-9.
- Melnyk M, Faist M, Claes L, Friemert B. Therapeutic cooling: no effect on hamstring reflexes and knee stability. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1329-34.
- Merrick MA. Secondary injury after musculoskeletal trauma: a review and update. *J Athl Train* 2002;37:209-17.
- Meyer-Marcotty M, Jungling O, Vaske B, Vogt PM, Knobloch K. Standardized combined cryotherapy and compression using Cryo-Cuff after wrist arthroscopy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19(2):314-9.
- Osbahr DC, Cawley PW, Speer KP. The effect of continuous cryotherapy on glenohumeral joint and subacromial space temperatures in the postoperative shoulder. *Arthroscopy* 2002;18(7):748-54.
- Plaja J. Analgesia por medios no farmacológicos. En: Montagut F, Flotats G, Lucas E (eds.). *Rehabilitación domiciliar: principios, indicaciones, programas terapéuticos*. Barcelona: Masson; 2005. p. 95-111.
- Radkowski CA, Pietrobbon R, Vail TP, Nunley JA, Jain NB, Easley ME. Cryotherapy temperature differences after total knee arthroplasty: a prospective randomized trial. *J Surg Orthop Adv* 2007;16(2):67-72.
- Reid G, Babes A, Pluteanu F. A cold and menthol-activated current in rat dorsal root ganglion neurones: properties and role in cold transduction. *J Physiol* 2002;545:595-614.
- Rice D, McNair PJ, Dalbeth N. Effects of cryotherapy on arthrogenic muscle inhibition using an experimental model of knee swelling. *Arthritis Rheum* 2009;61(1):78-83.
- Saeki Y. Effect of local application of cold or heat for relief of pricking pain. *Nurs Health Sci* 2002;4:97-105.
- Schaubel JJ. The local use of ice after orthopedic procedures. *Am J Surg* 1946;72:711-4.
- Scheffler NM, Sheitel PL, Lipton MN. Use of cryo/cuff for the control of postoperative pain and edema. *J Foot Surg* 1992;31:141-8.
- Shin YS, Lim NY, Yun SC, Park KO. A randomised controlled trial of the effects of cryotherapy on pain, eyelid oedema and facial ecchymosis after craniotomy. *J Clin Nurs* 2009;18(21):3029-36.
- Singh H, Osbahr DC, Holovac TF, Cawley PW, Speer KP. The efficacy of continuous cryotherapy on the postoperative shoulder: a prospective, randomized investigation. *J Shoulder Elbow Surg* 2001;10(6):522-5.
- Starkey C. *Recursos terapéuticos em fisioterapia* (2.ª ed.). São Paulo: Manole; 2001. p. 114-75.
- Swenson C, Sward L, Karlsson J. Cryotherapy in sports medicine. *Scand J Med Sci Sports* 1996;6:193-200.
- Tomchuk D, Rubley MD, Holcomb WR, Guadagnoli M, Tarno JM. The magnitude of tissue cooling during cryotherapy with varied types of compression. *J Athl Train* 2010;45(3):230-7.
- Woolf SK, Barfield WR, Merrill KD, McBryde AM Jr. Comparison of a continuous temperature-controlled cryotherapy device to a simple icing regimen following outpatient knee arthroscopy. *J Knee Surg* 2008;21(1):15-9.

Hidroterapia e hidrocinesiterapia

Antonio I. Cuesta-Vargas*, Manuel González-Sánchez**

*Profesor del Departamento de Psiquiatría y Fisioterapia de la Universidad de Málaga

**Doctorando por la Universidad de Málaga. Personal Investigador en Formación de la Junta de Andalucía de la Universidad de Málaga

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Introducción 90

Principios mecánicos del agua 90

Materiales y características del entorno en hidroterapia 90

Características de la instalación en función de los servicios 91

Características de los servicios en función de la instalación 91

Planificación de la seguridad e higiene 91

Cartera de servicios 91

Hidrocinesiterapia 92

Diseño de programas de ejercicios en agua 92

Valoración y mejora de la flexibilidad con hidrocinesiterapia 93

Métodos de entrenamiento de la flexibilidad en el medio acuático 94

Valoración y mejora de la fuerza y de la resistencia con hidrocinesiterapia 94

Métodos de entrenamiento de la fuerza y de la resistencia muscular en el medio acuático 95

Valoración y mejora del equilibrio y de la coordinación con hidrocinesiterapia 96

Evidencia científica sobre la efectividad clínica de la hidroterapia 97

Efectividad clínica de la hidroterapia en afecciones musculoesqueléticas 97

Osteoartritis 97

Artritis reumatoide 97

Artroplastia 98

Fibromialgia 99

Lumbalgia 99

Efectividad clínica de la hidroterapia en afecciones neurológicas 100

Accidente cerebrovascular 100

Lesión cerebral adquirida y discapacidad intelectual 100

Parálisis cerebral en el adulto 101

Esclerosis múltiple 101

Síndrome pospolio 102

Efectividad clínica de la hidroterapia en afecciones pediátricas 102

Parálisis cerebral infantil 102

Artritis idiopática juvenil 102

Efectividad clínica de la hidroterapia específica para la mujer 103

Bienestar durante el embarazo 103

Bienestar en la posmenopausia 103

Osteoporosis 104

Obesidad 104

Efectividad clínica de la hidroterapia en la actividad física y el deporte 104

Carrera en piscina profunda 104

Pliometría 105

Entrenamiento específico y rehabilitación 105

Indicaciones y contraindicaciones de la hidroterapia 106

Contraindicaciones generales absolutas 107

Contraindicaciones generales relativas 107

Contraindicaciones de segundo o tercer grado 107

INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos de hidroterapia, el fisioterapeuta debe considerar, por un lado, el cuadro clínico que presenta el paciente y, por otro, las características y propiedades que posee el agua. La integración de ambas perspectivas persiguiendo un objetivo rehabilitador será determinante para el éxito o el fracaso del tratamiento.

En este capítulo vamos a exponer todos aquellos principios que deben ser tenidos en cuenta a la hora de planificar un programa de hidroterapia e hidrocinesiterapia, haciendo especial hincapié en los estudios existentes en relación con diferentes afecciones y estados especiales de sujetos habituales en la práctica clínica.

Entre las diferentes propiedades físicas del agua que resultan de interés para el desarrollo del presente capítulo destacan las siguientes: *a)* la *densidad relativa del agua*, cuyo valor es 1; *b)* las *turbulencias*, que hacen referencia a las perturbaciones que sufre un fluido cuando un cuerpo intenta atravesarlo; *c)* la *presión hidrostática*, que es la presión que hace el agua en toda la superficie corporal sumergida y que será equitativa en todos los segmentos corporales cuando estén en estático y a la misma profundidad, y *d)* el *metacentro*, que se basa en el hecho de que un cuerpo sumergido está sometido a dos fuerzas contrapuestas: la gravedad (hacia abajo) y la flotación (hacia arriba). Ambas tienen la misma dirección pero distinto sentido y son iguales cuando el cuerpo está en equilibrio.

PRINCIPIOS MECÁNICOS DEL AGUA

El agua reacciona ante la forma y la densidad de cualquier cuerpo que se introduzca en ella. De esta forma, la presencia de simetrías o asimetrías corporales afectarán al equilibrio resultante del cuerpo dentro del agua. Una persona con una patología o discapacidad podrá sufrir alteraciones en su forma y/o en sus densidades relativas. Por este motivo, el fisioterapeuta deberá evaluar la morfología de cada persona desde una perspectiva frontal, lateral (en ambos lados) y posterior, así como longitudinalmente, lo que es más sencillo si el sujeto se encuentra en posición supina dentro del agua. Es importante recordar que la posición de flotación dependerá siempre de la forma y la densidad relativa de cada uno de los segmentos corporales y de su posicionamiento en el agua.

Desde estas perspectivas, y con el conocimiento de qué sucede en función de la forma y la densidad, se pueden desarrollar programas que permitan un ajuste mental de la posición del sujeto dentro del agua, ayudando a recuperar el equilibrio.

Los principales efectos mecánicos que participan de la actividad de un sujeto en el medio acuático son los siguientes:

1. Efectos de la flotación en el peso. Una de las principales ventajas que presenta la hidroterapia es la sensación de reducción de peso que experimenta la persona; los pacientes se sienten mucho más ligeros. En consecuencia, pueden moverse de manera más sencilla y descargando mucho la presión sobre las articulaciones.
2. Resistencia de fluidos. La resistencia del movimiento a través de los fluidos es causada por la viscosidad de éste. La resistencia que el cuerpo debe vencer cuando se desplaza dentro del agua se denomina arrastre, y éste debe tenerse en cuenta a la hora de realizar la planificación de un programa de hidroterapia.

MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO EN HIDROTERAPIA

Debido a la expansión continua que están experimentando los programas de acuaterapia, cada vez son más frecuentes las instalaciones de nueva construcción que han sido diseñadas pensando en los servicios que prestarán, aunque sigue siendo más frecuente el uso de instalaciones

ya existentes que se reorientan y adaptan a las nuevas demandas. Las características de la instalación y de los servicios van a ir siempre de la mano; así, se crean dos perspectivas:

CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS SERVICIOS

El modelo ideal de instalación acuática es aquel en el que, desde el momento en que se tiene conocimiento de su creación, se realiza un trabajo en equipo por parte de los técnicos que la diseñan, los gestores que implantarán los servicios y los profesionales que prestarán dichos servicios, para determinar las necesidades reales de la instalación. La zona de desarrollo de las actividades debe comprender dos áreas bien delimitadas: área seca y área húmeda o de piscinas. Lo ideal sería tener tres vasos a diferentes temperaturas (28-30-33 °C) para poder atender a todas las necesidades que este tipo de instalaciones puede plantear. Todos deben estar dotados del material auxiliar para la enseñanza de la natación y demás actividades acuáticas. El área seca debe comprender una zona de ejercicios diáfana para grupos, dotada del material de trabajo de fisioterapia semidirigido. Además, debe incluir otras dependencias destinadas a consultas de exploración, valoración y tratamiento de fisioterapia.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS EN FUNCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Si la instalación ya existe y quiere acoger servicios de acuaterapia, se verá limitada en cuanto a los programas que puede ofertar. De cualquier forma, es difícil encontrar instalaciones acuáticas antiguas que por su polivalencia suban la temperatura por encima de los 28 °C o cuenten con el resto de los servicios. En cambio, sí es posible adaptar un área seca para trabajo complementario, que permita alternar 30 minutos de actividades en seco y 30 minutos en agua, con turnos nuevos cada 30 minutos. Esto significa duplicar la capacidad de la instalación.

Planificación de la seguridad e higiene

En toda actividad acuática la seguridad es un imperativo ineludible. Los importantes beneficios proporcionados por la inmersión llevan asociados determinados riesgos que deben ser cuantificados e identificados en cada caso, para que sean controlados adecuadamente.

Un plan de seguridad e higiene debe incluir: un diseño correcto de la unidad acorde con los servicios que pretende prestar y el tipo de clientes/pacientes que demandan de dichos servicios; un buen equipamiento; un personal cualificado; un cumplimiento estricto de la normativa relativa a seguridad e higiene establecida para este tipo de instalaciones; un mantenimiento adecuado de la piscina; unos controles periódicos de la calidad y condiciones higiénicas del agua; una instrucción pertinente de los usuarios, y un cuidadoso análisis de su historia clínica y de su capacidad para desenvolverse en el medio acuático (Koury, 2000).

Cartera de servicios

Existen diferentes modos de clasificar las técnicas utilizadas en el mundo de la terapia acuática, dependiendo de las variables sobre las que se estructuren. Debido a su funcionalidad, una de las más frecuentemente utilizadas son los servicios prestados, de modo que se diferencian las técnicas en función de cómo el cliente/paciente puede recibir los servicios demandados; ya sea individualmente, en grupo o asesorado. Con arreglo de este criterio se diferencian tres tipos de servicios:

1. Uno-uno (fisioterapeuta-paciente) o individuales. Como su propio nombre indica, las técnicas uno-uno son aquellas en las que hay un fisioterapeuta por paciente y, por tanto, es imprescindible la inmersión del profesional clínico (o parte de él) para realizar el tratamiento.
2. Dirigidos. Son aquellos programas en los que está presente el fisioterapeuta durante la ejecución de las sesiones. Éstas habitualmente se realizan en grupo, con diferente ratio fisioterapeuta/paciente, dependiendo del perfil del programa, pero con objetivos personalizados y previamente establecidos y tipificados.

3. Semidirigidos. El trabajo semidirigido es aquel en el que, sin estar presente el fisioterapeuta durante la ejecución de las sesiones, el paciente practica la actividad acuática más conveniente para su caso, en la que ha sido instruido de forma previa.

HIDROCINESITERAPIA

Una posición estable del cuerpo es decisiva para conseguir el éxito de la terapia acuática. Los problemas de estabilidad y de equilibrio surgen porque el cuerpo humano no es perfectamente simétrico. Debido a los diferentes grados de flotabilidad, en función de las distintas densidades corporales, algunas personas pueden tener dificultades para lograr una postura estable y alineada en el agua, lo que es fundamental para la correcta realización de los ejercicios; por tanto, antes de establecer el programa de tratamiento, el fisioterapeuta debería descartar la existencia de asimetrías importantes, tanto anteroposteriores como laterales o longitudinales, y adaptar, en su caso, la postura inicial. Para lograr una posición horizontal suficientemente estable en las primeras etapas del tratamiento, muchas veces es necesario recurrir a elementos de sujeción o estabilizadores. En etapas posteriores se enseñará al paciente a usar la tensión muscular para mantenerse en dicha posición. En cuanto a los *ejercicios en posición vertical*, la flotación facilita los ejercicios dirigidos de abajo arriba en el plano sagital y ofrece resistencia a los que van en sentido contrario. Además, ejerce una función de soporte del cuerpo o segmento corporal en los movimientos que se ejecutan en el plano horizontal.

Antes de decidir cuál es la temperatura ideal se deben tener en cuenta aspectos como el tipo e intensidad de los ejercicios, la duración del baño, la edad y el estado del paciente o el tipo de patología de que se trate. La intensidad y la duración del baño serán inversamente proporcionales a la temperatura del agua, que oscilará entre los 28 y los 34 °C.

La sesión de terapia acuática tiene una duración variable, que puede oscilar entre los 10 minutos y una hora. Ésta depende de circunstancias como: la edad del sujeto, el tipo e intensidad del ejercicio y la temperatura del agua. En general, hay que tener en cuenta que cuanto mayor es la edad del paciente y más alta la temperatura del agua, más corta debe ser la sesión de tratamiento.

DISEÑO DE PROGRAMAS DE EJERCICIOS EN AGUA

El diseño de programas de ejercicio en agua comprende la mejora en las cualidades físicas como la flexibilidad, la fuerza, la resistencia, el equilibrio y la coordinación. La valoración funcional del sujeto es previa al diseño del programa de trabajo en medio acuático y consiste en la historia de fisioterapia, la exploración y el posterior asesoramiento para iniciar un programa con objetivos preestablecidos de prevención, recuperación o compensación. Pasamos a describir cada uno de estos elementos:

1. Historia biomecánica del individuo. La historia de fisioterapia nos permite tomar datos relativos a la afección y los antecedentes personales del paciente o usuario. Además, deben incorporarse otras informaciones como la historia ergonómica, que determinará la adaptación ergonómica y la categoría mecánica de ocupación laboral: esto es, si es un sujeto dinámico, estático o disperso; la historia deportiva, de la cual se deducirán los antecedentes deportivos e historia de cargas físicas soportadas por el paciente, así como el perfil de usuario de actividad física. Con estas tres historias, se puede realizar un diagnóstico de fisioterapia sobre la historia biomecánica del individuo.
2. Antropometría. Consiste en la determinación de la *composición corporal del individuo*, desde el cálculo del índice de masa corporal hasta los porcentajes de peso graso, magro, óseo y residual, a partir de la toma de pliegues grasos, diámetros óseos y perímetros segmentarios.

3. **Ortometría.** Como su propio nombre indica, es la medición de la alineación corporal, fundamentalmente de la columna vertebral y de los miembros inferiores, para determinar cómo esa variable influye sobre la prescripción de objetivos programáticos.
4. **Goniometría.** Busca la valoración de la movilidad del individuo por medio del registro de ángulos, a través de goniómetros, inclinómetros y sistemas de mediciones especiales. Es fundamental para evitar compensaciones en la realización de los ejercicios programados.
5. **Dinamometría.** Consiste en la medición de la fuerza por medio de aparatos y sistemas que determinen valores objetivos, como los dinamómetros de manos, los muelles extensiométricos de 15-200 kg o sistemas de valoración neuromuscular con curvas fuerza/tiempo.
6. **Ergometría.** Busca la valoración de la capacidad de resistencia por medio de cálculos teóricos indirectos, basándose en la edad y porcentajes, la realización de tests de laboratorio o de campo, para determinar la capacidad exacta de trabajo cardiovascular. Éstos son cada vez más empleados.
7. **Espirometría.** Consiste en la medición de la capacidad pulmonar y de los parámetros ventilatorios necesarios para controlar la evolución de la mejora respiratoria, por medio de aparatos que pueden ser analógicos, de bajo coste, o digitales, muy precisos y con programas informáticos incorporados.

Según la naturaleza de la afección, tendrán más relevancia unas mediciones que otras; por ejemplo, en el caso de la afección degenerativa del aparato locomotor, tendrán más importancia la ortometría, la goniometría y dinamometría. Sin embargo, en una afección cardíaca, la antropometría y la ergometría tendrán más trascendencia. Finalmente, en una afección pulmonar, la espirometría constituye la medición fundamental. En todo caso, siempre será importante tener en cuenta algún aspecto de cada una de las mediciones, porque en la patología crónica se debe contemplar siempre la mejora de la función global del sujeto.

Junto con todas las mediciones, para evitar el abandono por promesas incumplidas o la inconstancia en el programa por falta de tiempo, se debe consensuar con el paciente cuáles son sus verdaderas expectativas y su nivel de compromiso en un programa de larga duración.

Con el resumen e integración de estas mediciones, y con el análisis de la planificación del programa de entrenamiento terapéutico, se determinan cuáles son los objetivos a corto, medio y largo plazo, consensuados entre el fisioterapeuta y el usuario/paciente.

VALORACIÓN Y MEJORA DE LA FLEXIBILIDAD CON HIDROCINESITERAPIA

Uno de los efectos más beneficiosos del ejercicio en el agua es la capacidad de mantener o incrementar la movilidad articular. Los movimientos de una articulación son causados por los elementos neuromusculares y/o una fuerza externa (manual, flotación, etc.). Sin embargo, el movimiento de cada segmento depende de la estructura de las superficies articulares, así como de la integridad y flexibilidad de los tejidos blandos periarticulares (cápsulo-ligamentoso, miograso, etc.).

La flexibilización de los segmentos corporales puede producirse a través de actividades de tipo:

1. **Movimiento activo o activo-asistido dentro del agua para normalizar.** Este primer movimiento va a permitir:
 - a) Incrementar la circulación periférica y relajar la musculatura.
 - b) Comenzar un movimiento activo sin dolor y contragravitatorio.
 - c) Reducir el edema por la presión hidrostática e intraarticular.
 - d) Fortalecer la musculatura sin la compresión de la fuerza de la gravedad.
 - e) Mejorar la coordinación y la retroalimentación sensorial.
 - f) Replicar movimientos ocupacionales, deportivos o actividades de la vida diaria (AVD).
2. **Movimiento pasivo en el agua para normalizar.** Este segundo movimiento posibilita:
 - a) El incremento de la circulación periférica y la relajación de la musculatura.
 - b) El movimiento asistido por la flotación y la relatividad del peso hace más fácil el movimiento pasivo en agua.

- c) Evita los acortamientos musculares y las contracturas.
- d) Inhibe el dolor y/o modifica los umbrales dolorosos.
- e) Puede comenzar el movimiento pasivo sin dolor antes que en seco, cuando el peso del miembro es contraproducente.
- f) Puede desacelerar la recuperación activa (fuerza y resistencia muscular), ya que en contraposición con el movimiento activo, no tiene efectos claros sobre la nutrición del músculo.

Métodos de entrenamiento de la flexibilidad en el medio acuático

Existen distintos métodos de entrenamiento de la flexibilidad con hidrocinesiterapia entre los que podemos destacar los siguientes:

1. Técnicas articulares:
 - a) Posicionamiento articular estático. Mantener de 10 a 15 segundos durante dos-tres series en una posición articular con la suficiente tensión sobre los elementos blandos periarticulares, de tal forma que se provoque una mejora de la barrera de movimiento. Ejemplo: lesión articular en fase de recuperación.
 - b) Estabilización isotónica para la normalización. Movimientos agonistas para mantener o mejorar la movilidad en el sentido antagónico del movimiento. Pueden realizarse de 10 a 15 repeticiones en dos-tres series de movimiento activo o activo-asistido, cambiando al sentido contrario del mismo movimiento. Ejemplo: anquilosis.
 - c) Pendulares con peso. Movimiento pendular de miembro superior o inferior con peso (plomo), para provocar una tracción mantenida (libera el reflejo miotático) y una decoaptación articular junto a los efectos provocados por la inmersión. Se recomienda la realización de movimientos pendulares con una duración de 2-4 minutos y con un peso aproximado de 2-5 kg. Ejemplo: capsulitis retráctil de hombro, coxartrosis protrusiva.
 - d) Posicionamiento muscular estático. Mantener una posición de estiramiento analítico muscular (espiral) durante 20-30 segundos en dos-tres series, para provocar una mejora de la capacidad elástica del músculo. Ejemplo: acortamiento muscular.
2. Técnicas neuromusculares:
 - a) Relajación postisometría (RPI). Mantener en el posicionamiento de estiramiento analítico del músculo (espiral) durante 5 segundos y posteriormente realizar una contracción del músculo estirado de forma suave sin perder la posición de estiramiento. Al finalizar la contracción, relajar y buscar nueva barrera muscular de posicionamiento. Repetir esta secuencia tres veces y mantener durante 20-30 segundos. Ejemplo: hipertonía muscular (deshidratación), espasticidad neuromuscular.
 - b) Facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) por contracción del antagonista. Mantener en el posicionamiento de estiramiento analítico del músculo (espiral) durante 5 segundos. Posteriormente debemos contraer el músculo antagonista. En la posición de estiramiento, sin relajar y ni buscar nueva barrera muscular al posicionamiento, repetiremos esta secuencia tres veces y posteriormente mantendremos la posición de 20° 30 segundos. Ejemplo: espasmo muscular defensivo (tortícolis).

VALORACIÓN Y MEJORA DE LA FUERZA Y DE LA RESISTENCIA CON HIDROCINESITERAPIA

La fuerza muscular se define como la capacidad de vencer o resistir una tensión interna y/o externa mediante una contracción muscular. La mayor o menor capacidad de poder crear fuerza muscular va a estar determinada por los siguientes aspectos:

- Activación simultánea del mayor número de unidades motoras.
- Frecuencia máxima de los impulsos efectores.
- Ritmo sincronizado en la actividad de las unidades motoras.

Por otro lado, la resistencia muscular se define como la capacidad de mantener una tensión muscular en un tiempo máximo. Esta capacidad física va a estar determinada por una serie de factores, entre los que destacan:

- El reclutamiento submáximo de unidades motoras.
- La frecuencia media de impulsos efectores.
- El ritmo asincrónico de las unidades motoras.

Los principales modos de obtener tensiones musculares máximas y submáximas son:

1. Movimiento de una carga máxima. Las cargas son máximas o submáximas en función de la valoración previa de cada sujeto. Un músculo a 2/5 o 3/5 (según la escala de valoración muscular 0-5 de Daniels y Worthingham) sólo podrá realizar cargas máximas en ingravidez (p. ej., dentro del agua).
2. Movimiento de una carga submáxima hasta la fatiga. Con cargas submáximas, la fatiga aparece por:
 - a) Fallo de la placa motora.
 - b) Fallo del sustrato energético.
 - c) Fallo de vascularización (incremento de la resistencia periférica vascular).
 Mediante el ejercicio acuático podemos calcular el fallo motor y el energético, y favorecer el fallo vascular mediante la presión hidrostática.
3. Movimiento de una carga submáxima a velocidad máxima. Con cargas submáximas a velocidad máxima, necesitamos de un aparato isocinético (exclusivo) o de la realización de un entrenamiento con metrónomo (misma carga diferentes ángulos), pero el entrenamiento en agua nos permite una carga adaptada a cada velocidad (resistencias) y un control de la velocidad por ritmos.

Así, los principales objetivos fisiológicos que nos planteamos con el entrenamiento de la fuerza muscular son los siguientes:

- Neosíntesis de proteínas contráctiles.
- Aumento del volumen sarcoplásmico debido al aumento de las reservas de glucógeno.
- Disminución del volumen de las mitocondrias.

Por su lado, un buen entrenamiento de la resistencia muscular debe perseguir los siguientes objetivos:

- Aumento del volumen y de la densidad de las mitocondrias.
- Aumento de las enzimas oxidativas.
- Sarcoplasma: aumento de los gránulos de glucógeno y lípidos.

Métodos de entrenamiento de la fuerza y de la resistencia muscular en el medio acuático

El desarrollo de la fuerza y la resistencia muscular mediante ejercicios acuáticos, también denominado «Aquastab», nos ofrece un espectro muy amplio de trabajo (desde un nivel 1 hasta uno 4+ o 5, según la escala de valoración de Daniels y Worthingham) y nos permite trabajar tanto la resistencia como la fuerza muscular, controlando el pico máximo de fuerza, el fallo vascular y la velocidad de ejecución. Un protocolo básico para planificar un entrenamiento con esta metodología podría ser el siguiente:

- Seleccionar el ejercicio: según el segmento, el músculo, la lesión, el tipo de piscina y el material auxiliar.
- Elegir la resistencia de trabajo, mediante el vector flotación, según la valoración muscular previa.

- Seleccionar la amplitud de movimiento (AM): según el tamaño del músculo, la lesión y la dificultad para fatigar al sujeto/paciente.
- Determinar el número de repeticiones que deben realizarse.
- Pautar el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso.
- Establecer el número de series: según el tamaño del músculo, la lesión, la capacidad aeróbica del músculo del sujeto y la dificultad para fatigar.
- Determinar la velocidad de ejecución del ejercicio: según la capacidad neuromuscular del sujeto.

VALORACIÓN Y MEJORA DEL EQUILIBRIO Y DE LA COORDINACIÓN CON HIDROCINESITERAPIA

Una de las características físicas que se pueden transferir de manera sencilla del medio acuático a la tierra es el equilibrio. Dentro del agua, el propio movimiento obliga a una constante reevaluación y readaptación de la propia posición provocada por las turbulencias que el medio genera.

Un sistema que resulta muy efectivo en el desarrollo de dicha capacidad física fue el creado por James McMillan (ingeniero en fluidomecánica) mientras trabajaba en la Escuela Halliwick de Londres (1949). Originariamente fue creado como método para enseñar a nadar basándose en sus estudios de hidrodinámica y mecánica corporal. En 1975 es incorporado en el «enfoque lógico del ejercicio en el agua» por parte de Johan Lambeck, fisioterapeuta holandés. Posteriormente, comienza a ser utilizado en Suiza y Holanda como método terapéutico en pediatría, neurología, reumatología y ortopedia.

Este concepto se aplica siempre buscando el aprendizaje de forma espontánea y progresiva y sin presiones, lo que permite que pueda ser aplicado en muchos ámbitos, entre ellos el de la rehabilitación y la fisioterapia, pero también en el deporte o vinculado a actividades de ocio. Todo fisioterapeuta que realice ejercicios dentro del agua y que desee desarrollar una capacidad física como el equilibrio, debería considerar, a la hora de realizar su planificación, 10 puntos básicos:

1. Ajuste mental. Imprescindible para que el paciente o sujeto se adapte al nuevo medio, procurando orientar sus esfuerzos hacia un control de la respiración, sumergirse en el agua, oclusión labial y soplo.
2. Suelta. Es el primer momento en el que el sujeto comienza a sentirse independiente con respecto al instructor, al fondo, a los bordes, etc.
3. Rotación longitudinal. Capacidad para controlar y realizar rotaciones en el eje longitudinal.
4. Rotación transversal. Capacidad para controlar y realizar rotaciones en el eje trasversal.
5. Rotación sagital. Capacidad de controlar rotaciones en el eje antero-posterior.
6. Rotación combinada. Capacidad para controlar y realizar combinaciones de las tres rotaciones.
7. Empuje hacia arriba. Todo el cuerpo sumergido en el agua experimenta un empuje hacia arriba que el sujeto debería interiorizar para poder hacer sus ejercicios correctamente.
8. Equilibrio como inmovilidad. Desde una posición de parado, el sujeto debe mantener el control de la posición estable asegurándose el control del cuerpo.
9. Capear turbulencias (inhibición). A partir de una posición de estabilidad previamente descrita, al sujeto se le somete a disequilibrios mediante empujes y balanceos, ya sea de manera directa o mediante turbulencias.
10. Progresión y brazada simple. El sujeto posee la independencia suficiente para empezar a desplazarse dentro del agua mediante gestos controlados, como pueden ser una braza, fruto de la progresión realizada.

Es importante matizar que en esta metodología no se hará mucho uso de material auxiliar, y debemos realizar una planificación de la intervención pensando más en la potencialidad del sujeto que en la carencia momentánea o definitiva que pueda tener.

EVIDENCIA CIENTÍFICA SOBRE LA EFECTIVIDAD CLÍNICA DE LA HIDROTERAPIA

En la práctica clínica cotidiana, el uso de la hidroterapia en determinadas patologías neuro-músculo-esqueléticas, pretende conseguir mejoras en diferentes tipos de variables de manera que el paciente poco a poco perciba el beneficio que el uso de este medio puede aportar a su estado patológico.

El presente apartado pretende servir de orientación, presentando los protocolos que resultan más efectivos en función de la especialidad clínica dentro de la cual se pretende intervenir; se emplea, como criterio de selección de los diferentes instrumentos de actuación, la evidencia científica.

EFECTIVIDAD CLÍNICA DE LA HIDROTERAPIA EN AFECCIONES MUSCULOESQUELÉTICAS

Osteoartritis

La osteoartritis (OA) es la forma más común de artritis. Causa dolor, inflamación y una disminución de la movilidad articular. Aunque puede afectar a cualquier articulación, los segmentos corporales más afectados suelen ser las manos, las rodillas, las caderas o la columna vertebral.

Se debe plantear el tratamiento de la OA como una intervención grupal, con ligeras individualizaciones en aspectos como el número de repeticiones o la intensidad de la carga en función de la evolución del paciente. Es importante que el fisioterapeuta dirija en todo momento la sesión enfatizando su esfuerzo en que el paciente realice un movimiento de calidad, con un posicionamiento neutro de la columna vertebral, asegurando, mediante palpación y la contracción de los músculos que realmente necesitan ser solicitados (Norton, 1997; Suomi et al, 1999, 2000, 2003). El número de sesiones semanales debe oscilar entre dos y tres, con una duración mínima de 30 minutos y una máxima de 60 minutos por sesión (Lin et al, 2004; Sterner-Victorin et al, 2004; Wang et al, 2007). Durante ese período, debe existir una fase de calentamiento y otra de vuelta a la calma, así como una intervención centrada en el mantenimiento o mejora del equilibrio y de las capacidades físicas básicas como la flexibilidad, la fuerza y la resistencia (Patrick et al, 2001; Belza et al, 2002). Será muy importante el cumplimiento del tratamiento por parte del paciente, por lo que el fisioterapeuta debe focalizar parte de su esfuerzo en concienciar al paciente de la importancia de este factor (Norton, 1997; Suomi, 2003).

Al comparar los efectos del ejercicio en el medio acuático en contraposición con protocolos en seco, se ha observado que, en protocolos de hidroterapia, el aumento de la distancia recorrida caminando sea mayor que en protocolos en seco (Foley et al, 2003). Además, la reducción del dolor es también mayor en ejercicios realizados dentro del agua que cuando son ejecutados en seco (Wyatt et al, 2000). Asimismo, la hidroterapia consigue una mayor reducción del dolor y un aumento de la función y de la calidad de vida cuando se compara con la educación sanitaria (Sterner-Victorin et al, 2004).

Artritis reumatoide

Es una patología musculoesquelética autoinmune de origen desconocido que afecta principalmente a las muñecas, las rodillas, los dedos de las manos y los tobillos, provocando dolor, inflamación, y pérdida de movilidad y de función de las articulaciones afectadas.

La intervención debe estar dirigida en todo momento por un fisioterapeuta, el cual se encargará tanto de planificar cada sesión como de revisar periódicamente la evolución de los pacientes para adaptar la intervención global a las características individuales de cada uno de ellos (Eversden et al, 2007). El fisioterapeuta debe buscar pequeñas adaptaciones individuales al tratamiento, y los cambios globales dentro de la intervención se deben producir de manera muy progresiva (Sandford-Smith et al, 1998).

En la parte principal de la sesión, debe existir un alto contenido de ejercicio aeróbico, cuya intensidad máxima no debería superar el 70-75% de la frecuencia cardíaca máxima de cada paciente (Sandford-Smith et al, 1998; Bilberg et al, 2005). Otro contenido que obligatoriamente debemos introducir en la parte principal de la sesión son ejercicios funcionales y de fuerza. Se pueden utilizar las fases del calentamiento y de vuelta a la calma para trabajar la movilidad articular con ejercicios de flexibilidad y estiramientos.

Las sesiones deben tener una duración de entre 30 y 60 minutos, con una frecuencia de entre dos y tres veces por semana, en grupos compuestos por 4 sujetos como mínimo y un máximo de 12 (Sandford-Smith et al, 1998; Bilberg et al, 2005; Eversden et al, 2007).

Cuando se ha comparado la hidroterapia y el ejercicio físico terapéutico en seco, se han encontrado resultados contradictorios. Eversden et al (2007) observaron una evolución general mayor en pacientes que realizaron hidroterapia y Bilberg et al (2005) identificaron un rendimiento superior en el test de la silla y en el del hombro en pacientes que fueron intervenidos mediante hidroterapia. Sin embargo, Sandford-Smith et al (1998) no encontraron diferencias entre los dos medios de tratamiento. Por ello sería necesario que se realicen más estudios en este sentido.

Artroplastia

En la artroplastia, se debe considerar la hidroterapia como complemento de un protocolo de fisioterapia más amplio que se desarrolla también fuera del agua. La duración de la sesión no debe exceder los 30-40 minutos y la frecuencia semanal oscilará entre dos y tres sesiones. Durante el calentamiento, el paciente realizará desplazamientos hacia delante y hacia atrás, caminando o imitando a una bicicleta suspendida, sobre todo cuando caminar en el agua sea excesivamente doloroso.

Inicialmente, el fisioterapeuta deberá prestar especial atención a la posición del paciente, asegurándose, mientras éste camina, de que la transferencia del peso se realiza desde el talón hasta la punta del pie de manera rectilínea, evitando la rotación externa excesiva (Gilbey et al, 2003). Los ejercicios de estiramiento deben favorecer el aumento de la movilidad articular mediante el incremento de la flexibilidad de grupos musculares como los flexores y extensores de la rodilla, de los músculos flexores y aductores de la cadera, de la musculatura del tronco, de los hombros y de la pierna. Sin embargo, la mejora de la fuerza se debe realizar con ejercicios más globales, que integren la sollicitación de diferentes grupos musculares, como ocurre durante el movimiento de sentarse y ponerse de pie o realizando un squat parcial (Winter, 2000a; Gilbey et al, 2003).

Posteriormente, durante la intervención de fisioterapia es importante determinar a partir de qué momento se puede iniciar la rehabilitación en el agua tras la intervención quirúrgica, aunque la recomendación es que no debe iniciarse antes de las 2 semanas posteriores a la operación (Gilbey et al, 2003; Kenkowitz et al, 2003). La hidroterapia tendrá un importante papel dentro de este proceso, aunque complementará un programa de rehabilitación que también incluye ejercicios en casa y en seco. La duración de la sesión dentro del agua oscilará entre los 30 y los 60 minutos, con una frecuencia de dos-tres veces por semana (Gilbey et al, 2003; Kenkowitz et al, 2003; Weigenfeld-Lahav et al, 2007).

Así, inicialmente se utilizarán ejercicios muy específicos de fortalecimiento de la musculatura de los miembros inferiores, haciendo especial hincapié en aquellos músculos que participan en la deambulación. Sesión a sesión se revisará tanto la dificultad del ejercicio como el número de repeticiones de éste, de manera que se vaya aumentando paulatinamente (Weigenfeld-Lahav et al, 2007).

El material auxiliar debe estar presente en todas las sesiones, bien sea para facilitar la flotación y la descarga de la articulación (en fases iniciales), o bien para aumentar la resistencia (en fases posteriores). Asimismo, se debe trabajar a diferentes profundidades (Gilbey et al, 2003). La sesión debe terminar con ejercicios de estiramiento y relajación (Gilbey et al, 2003; Kenkowitz et al, 2003).

No se han encontrado estudios en los que se compare la efectividad de la hidroterapia de manera aislada frente a otros tratamientos en las artroplastias. A pesar de ello, algunos autores suponen que es de gran utilidad, en especial en el proceso posterior a la intervención, al afirmar que la hidroterapia contribuye positivamente a la mejora de la movilidad, sobre todo a la flexión y a la aducción de la cadera (Weigenfeld-Lahav et al, 2007), de dicha articulación en general (Gilbey et al, 2003) y de la articulación de la rodilla (Kenkowitz et al, 2003).

Fibromialgia

El síndrome fibromiálgico hace referencia a síntomas y trastornos musculoesqueléticos poco entendidos, caracterizados fundamentalmente por dolor persistente, rigidez muscular, tendinosa y de tejidos blandos circundantes de intensidad variable y fatiga extrema. Además, se deben considerar un amplio rango de síntomas psicológicos, como dificultades para dormir, rigidez matutina, dolores de cabeza y problemas con el pensamiento y la memoria, que algunas veces suelen impedir el funcionamiento rutinario del sujeto.

Cada sesión de hidroterapia estará compuesta por una parte de calentamiento y una de vuelta a la calma que oscilará entre el 17 (Vitorino et al, 2006) y el 30% del tiempo total de la sesión (Gowans et al, 1999; Mannerkorpi et al, 2000, 2002; Jentolf et al, 2001; Mannerkorpi, 2003; Asiste et al, 2006; Gusi et al, 2006). Todos estos autores señalan que en ambas fases se pueden emplear ejercicios de estiramiento y gestos globales.

Por otro lado, será el fisioterapeuta el encargado de la revisión de la técnica de ejecución de los ejercicios, en especial cuando éstos impliquen un desplazamiento del paciente, y quien determine la composición de la sesión. En la fase principal de ésta, será importante introducir una diferente tipología de ejercicios, como ejercicios aeróbicos a una intensidad del 60-80% (Jentolf et al, 2001), del 65-75% (Gusi et al, 2006) o individualizada según cada objetivo (Assis et al, 2006). Además, se realizarán ejercicios de movilidad de las grandes articulaciones corporales como tobillo, rodilla, cadera, hombro y espalda, así como estiramientos de la musculatura que contribuye a su movimiento o estabilización. Finalmente, se efectuarán ejercicios de fuerza y movilidad (Gowans et al, 1999; Gusi et al, 2006) y ejercicios de flexibilidad, coordinación y relajación (Mannerkorpi et al, 2000, 2002; Mannerkorpi, 2003). La frecuencia semanal de las sesiones oscila entre una (Mannerkorpi et al, 2000, 2002; Mannerkorpi, 2003), dos (Gowans et al, 1999) y tres sesiones a la semana (Assis et al, 2006; Gusi et al, 2006). La duración mínima de cada sesión será de 30 minutos (Gowans et al, 1999) y la máxima de 60 minutos (Assis et al, 2006; Gusi et al, 2006; Vitorino et al, 2006).

Habitualmente se suelen comparar intervenciones de hidroterapia con las que se realizan exclusivamente en seco. Así, se ha observado cómo en la fuerza, la mejora producida por un programa de hidroterapia resulta menor que si se compara con uno en seco en pacientes con fibromialgia (Jentoft et al, 2001; Gusi et al, 2006). Sin embargo, en relación con la capacidad para caminar, la percepción de fatiga, de sentirse mejor y de ser autosuficientes, se ha observado cómo la hidroterapia resulta mucho más eficaz que el tratamiento en seco (Gowans et al, 1999).

En general, con la hidroterapia se obtienen resultados mejores a medio y largo plazo que con el tratamiento en seco. Así, Jentoft et al (2001) encontraron cómo las mejoras obtenidas en la capacidad cardiovascular, la capacidad física y la calidad de vida, se mantenían en sujetos que realizaron un tratamiento basado en la hidroterapia, transcurrido un periodo de entre 6 meses y 2 años posteriores a la intervención. Estos mismos resultados fueron confirmados un año después por Mannerkopi et al (2002) en variables como la sensación de fatiga, dolor y distancia recorrida andando.

Lumbalgia

La lumbalgia se define como el dolor y malestar, localizados entre el margen costal y los pliegues glúteos inferiores, con o sin dolor referido de la pierna. Este apartado, se va a centrar

en el tratamiento de la lumbalgia mecánica inespecífica crónica (LMIC). Así, este tipo de lumbalgia que no es atribuible a una patología específica, reconocible y conocida y tiene más de 12 semanas de evolución. Esta modalidad de lumbalgia permite que todos los ámbitos del tratamiento pueden ser controlados por el fisioterapeuta, lo que no ocurre en el caso de las lumbalgias aguda y subaguda (Airaksinen et al, 2006).

La intervención de la LMIC se hace desde perspectivas diversas en las que se integran diferentes disciplinas que conforman una tipología de intervención que denominaremos tratamiento multimodal. En éste, la hidroterapia tendrá un papel suplementario como otro procedimiento más de fisioterapia (Barker et al, 2003; Cuesta-Vargas et al, 2009).

La parte de hidroterapia tendrá una duración que oscilará entre los 20 (Schrepfer y Fritz, 2000; Barrer et al, 2003; Cuesta-Vargas et al, 2009) y los 30 minutos (Winter, 2000b).

Dentro del agua se podrán utilizar ejercicios para la estabilización, la fuerza y la resistencia (Winter, 2000b). También son interesantes los ejercicios de carrera acuática manteniendo al sujeto con una posición neutra de la columna lumbar (Cuesta-Vargas et al, 2009), así como de resistencia-movilidad, estabilización y resistencia (Barker et al, 2003). El objetivo fundamental es que estos ejercicios deben ser parte de un gesto integrador, global y que permita la transferencia de la mejora de la capacidad física a las AVD (Sjogren et al, 1997; McIlveen y Robertson, 1998; Schrepfer y Fritz, 2000; Winter, 2000b; Cuesta-Vargas et al, 2009).

No se ha encontrado ningún artículo de alta calidad donde se compare la hidroterapia de manera aislada con otras intervenciones de fisioterapia. Siempre se ha observado como parte de un tratamiento multimodal que incluía hidroterapia. Así, se ha referido que los tratamientos en los que la hidroterapia ha sido integrada conseguían mejoras similares a las intervenciones multidisciplinarias sin hidroterapia. Guzmán et al (2001), en su revisión sistemática, concluyen que existe una importante evidencia de que la terapia multidisciplinaria es más efectiva que terapias no multidisciplinarias en la mejora de la función en pacientes con LMIC. Así, esa evidencia resulta moderada cuando se comparan las mejoras obtenidas en el dolor. Por su lado, Liddle et al (2004) y Hettinga et al (2007) sostienen que existe una importante evidencia en la mejora global del paciente cuando se emplea un tratamiento multimodal en el que está incluida la hidroterapia.

EFFECTIVIDAD CLÍNICA DE LA HIDROTERAPIA EN AFECCIONES NEUROLÓGICAS

Accidente cerebrovascular

Un accidente cerebrovascular (ACV) se produce cuando se interrumpe el suministro sanguíneo de alguna parte del cerebro debido a un derrame de sangre en el cerebro o a una obstrucción de un vaso sanguíneo. El uso de la hidroterapia como intervención tras un ACV se considera una parte de un protocolo que abarca otras modalidades de tratamiento físico y psicológico. Dentro del agua, se pueden realizar ejercicios destinados a la mejora de la movilidad articular y de la mejora de la función de los diferentes miembros en sujetos que han sufrido un ACV (Johnson y Hartman, 1998), facilitando la integración en movimientos que formen parte de las AVD, así como ejercicios que mejoren la resistencia de la persona afectada (Chu et al, 2004; Mackland y Klassbo, 2006).

No se han encontrado estudios que comparen los resultados obtenidos mediante el uso de la hidroterapia con otras intervenciones. Sin embargo, se ha observado que los protocolos propuestos dentro de este medio han conseguido mejoras en la fuerza muscular, tanto del lado parético como del no parético, así como en la velocidad de desplazamiento, en el equilibrio y en la respuesta global de los miembros inferiores (Johnson y Hartman, 1998; Chu et al, 2004; Mackland y Klassbo, 2006).

Lesión cerebral adquirida y discapacidad intelectual

En la lesión cerebral adquirida y discapacidad intelectual (LCADI), lo primero que debemos considerar en la intervención cuando se dispone a trabajar con personas con esta afección

es que será un tratamiento de largo recorrido que puede durar meses e incluso años y con una alta frecuencia semanal (mínimo tres sesiones por semana). La intervención será individual y basada en una valoración previa realizada antes del inicio del tratamiento. Además, las evaluaciones deben ser periódicas para adaptar el protocolo de actuación a eventuales nuevos objetivos, una vez superados los anteriores.

Será muy importante una alta frecuencia semanal, que debe oscilar entre tres (Driver, 2003; Driver et al, 2004) y cinco sesiones (Jones et al, 2006). Asimismo, es necesario introducir en el domicilio una sesión de ejercicios aeróbicos, como nos proponen Keren et al (2001). Estos ejercicios permiten al paciente ejercitarse en frecuencias cardíacas que oscilan entre el 50 y el 70% de la frecuencia cardíaca máxima (Driver, 2003; Driver et al, 2004). El paciente será constantemente retroalimentado, de manera que tome conciencia de su posición tanto en ejercicios activos como en pasivos (Jones et al, 2006).

No se han encontrado estudios que comparen el uso de la hidroterapia con otros tratamientos en este tipo de pacientes. Sin embargo, diversos autores han observado mejoras específicas en la fuerza muscular, el equilibrio, la coordinación y la flexibilidad (Driver, 2003; Driver et al, 2004), así como progresos en el estado general de salud y en las competencias físicas (Jones et al, 2005).

Parálisis cerebral en el adulto

La parálisis cerebral se define como un conjunto de alteraciones neuromotoras de carácter crónico, como consecuencia de una lesión o defecto en el desarrollo del cerebro. En pacientes que sufren parálisis cerebral en el adulto (PCA), el uso de la hidroterapia debe ser dirigido en todo momento por un fisioterapeuta, quien podrá realizar sesiones que sean tanto grupales como individuales e incluso una integración de ambas. Dentro de un desarrollo grupal de la sesión, se realizarán adaptaciones individuales, según las características de cada paciente. La frecuencia semanal deberá oscilar entre dos sesiones, como indican Jensen et al (2004) y Voglte (1998) y tres sesiones, como apuntan Thorpe et al (2000).

Los distintos autores consultados emplean diferentes tipologías de ejercicios, como ejercicios de estiramiento (Thorpe et al, 2000), de resistencia (Jensen et al, 2004), de control motor (Voglte, 1998) y de fuerza (Jensen et al, 2004).

No se ha encontrado ningún ensayo clínico en el que se compare la hidroterapia con otros medios de intervención o tratamiento. Sin embargo, los autores consultados recomiendan el uso de dicha herramienta al observar mejoras al caminar, en la reducción del consumo de medicamentos, en el aumento de la distancia caminada (Thorpe et al, 2000), y en la reducción de la frecuencia cardíaca máxima y de la presión arterial sistólica (Voglte, 1998).

Esclerosis múltiple

La esclerosis múltiple (EM) es una enfermedad crónica caracterizada por la aparición de lesiones desmielinizantes, neurodegenerativas, del sistema nervioso central. A pesar de que la etiología no está bien definida, parece que puede ser una enfermedad de respuestas autoinmunes. En la EM será importante controlar la temperatura del agua, que debe oscilar entre los 28 y los 29 °C (Roehrs, 2004; Coco et al, 2006). El número de sesiones semanales de hidroterapia debe oscilar entre dos (Roehrs, 2004) y tres (Coco et al, 2006). Los ejercicios que se proponen deben ser observados en dos fases, una en la que se busca un reequilibrio estructural con ejercicios de resistencia, potenciación y movilidad, procurando una integración en un segundo momento que permita una reeducación tanto postural como de la marcha (Roehrs, 2004; Coco et al, 2006).

No se ha encontrado ningún artículo en el que se compare el uso de la hidroterapia como medio de tratamiento en la EM frente a otras intervenciones, aunque los autores consultados ofrecen resultados en los que los pacientes mejoran significativamente en aspectos globales como la calidad de vida, el estado de salud, la percepción de fatiga y la independencia funcional, así como en condiciones más específicas de su patología, medidas con cuestionarios concretos como el Multiple Sclerosis Quality of Life Inventory (Roehrs, 2004; Coco et al, 2006).

Síndrome pospolio

El síndrome pospolio (SPP) es una enfermedad que afecta a muchas personas que sufrieron poliomielitis en el pasado. La sintomatología principal del SPP es la aparición de una nueva debilidad muscular que empeora de manera gradual, y que suele estar acompañada por una menor resistencia muscular, dolor muscular y articular y fatiga excesiva. El ejercicio propuesto debe ser, en su mayor parte, dinámico, de manera que obligue al paciente a desplazarse de manera continuada (Julbet, 2004). Sin embargo, ese dinamismo no debe llevar al paciente a la fatiga, ni durante el ejercicio ni al finalizarlo (Willen et al, 2001; Julbet, 2004). Los ejercicios propuestos deben integrarse dentro de un gesto global, pero deben fomentar el desarrollo del equilibrio, la resistencia, la movilidad y la relajación de la persona (Willen et al, 2001).

A pesar de que no se ha encontrado ningún artículo en el que se compare la eficacia de un programa de hidroterapia frente a otros tratamientos, los autores consultados han observado mejoras en el dolor y en la frecuencia cardíaca máxima.

EFFECTIVIDAD CLÍNICA DE LA HIDROTERAPIA EN AFECCIONES PEDIÁTRICAS

Parálisis cerebral infantil

El último consenso internacional para definir la parálisis cerebral infantil (PCI), la describe como «un grupo de trastornos del desarrollo psicomotor que causan una limitación de la actividad de la persona, atribuida a problemas en el desarrollo cerebral del feto o del niño. Las alteraciones psicomotoras de la parálisis cerebral se acompañan a menudo de problemas sensitivos, cognitivos, de comunicación y percepción, y en algunas ocasiones, de trastornos del comportamiento». En esta tipología de pacientes, será importante desarrollar sesiones individuales (Hutzler et al, 1998; Kelly y Durrah, 2005; Guetz et al, 2007) y también sesiones en las que el paciente pueda incorporarse dentro de un grupo de manera que pueda integrar las destrezas adquiridas en un entorno social, por lo que se podrá trabajar en parejas o en grupos (Kelly y Durrah, 2005; Guetz et al, 2007). El uso de la hidroterapia debe combinarse con ejercicios realizados en seco, de manera que el paciente pueda transferir las destrezas adquiridas a su entorno normalizado, por lo que las intervenciones serán de tipo multimodal (Hutzler et al, 1998; Kelly y Durrah, 2005).

Cuando se compara un protocolo que incluye hidroterapia con una intervención desarrollada por completo en seco, se ha observado cómo se produce una mejora de la integración y aceptación social en el grupo que realizó su intervención con hidroterapia (Getz et al, 2007). Sin embargo, no se han encontrado diferencias significativas en otras variables como la mejora de las competencias físicas o sociales. Sin embargo, cuando se analiza el efecto de la hidroterapia en pacientes con PCI y se compara con niños sin patología alguna, se observa cómo los pacientes con PCI experimentan una mejora significativa de la orientación en el agua más acusada que los niños sin esta patología.

Artritis idiopática juvenil

La artritis idiopática juvenil (AIJ) es una enfermedad crónica de la infancia de causa desconocida cuya sintomatología aparece antes de los 16 años y que se caracteriza por inflamación articular persistente. Esta patología presenta una inflamación articular acompañada de dolor y limitación de la movilidad articular. En la intervención de hidroterapia, una de las características en las que se debe insistir con este tipo de pacientes es la alta frecuencia semanal con la que se deben desarrollar las sesiones, que deben oscilar entre un mínimo de cuatro (Takken et al, 2001) y un máximo de ocho (Epps et al, 2005). La temperatura del agua debe ser superior a 30 °C. Sirvan de referencia las temperaturas propuestas por autores como Takken et al (2001) y Epps et al (2005), que oscilan entre los 31 y los 33 °C, respectivamente. Será

importante la combinación de ejercicios pasivos y activos. El hecho de introducir al sujeto en el agua debe ser aprovechado para que éste adquiriera la mayor destreza acuática mediante ejercicios específicos propios de este medio, aunque también sería importante realizar ejercicios que fomenten el desarrollo de capacidades físicas que sean extrapolables a la vida diaria.

Se ha observado que los pacientes que realizan un tratamiento en el que se combinan diferentes tipologías de intervención entre las que se encuentra la hidroterapia, mejoran en las variables de fuerza en la extensión de rodilla, y también mejora la resistencia y la condición física en general. Además, los pacientes escogieron los ejercicios que se realizaban dentro del agua porque los consideraban más sencillos y más divertidos, lo que favorecía la adherencia al tratamiento (Epps et al, 2005).

EFECTIVIDAD CLÍNICA DE LA HIDROTERAPIA ESPECÍFICA PARA LA MUJER

Bienestar durante el embarazo

Cuando trabajamos con embarazadas, debemos tener en cuenta que estamos ante sujetos que están viviendo uno de los estados de alteración más grandes que pueda sufrir su cuerpo durante toda su vida. Así, son frecuentes las alteraciones del estado de ánimo al observar cómo uno de los acontecimientos más importantes de sus vidas está modificando, de manera puntual, la percepción positiva del propio cuerpo.

En todas las sesiones, el fisioterapeuta debe procurar introducir ejercicios de resistencia y de fuerza muscular (Ward et al, 2005; Polman et al, 2007) y ejercicios aeróbicos (Kent et al, 1999; Smith y Michel, 2006). Las sesiones tendrán una duración que oscilará entre los 45 minutos, propuestos por Polman et al (2007), y los 60 minutos propuestos por Ward et al (2005). En la planificación de las sesiones, el fisioterapeuta debe integrar ejercicios de la mayoría de los segmentos corporales, haciendo especial hincapié en la musculatura de los miembros inferiores, del abdomen y la espalda y de los miembros superiores (Ward et al, 2005; Polman et al, 2007). Es importante reseñar que todos los autores consultados comenzaron sus intervenciones a partir del segundo trimestre del embarazo (Kent et al, 1999; Katz, 2003; Ward et al, 2005; Smith y Michel, 2006; Polman et al, 2007).

Polman et al (2007) encontraron que las mujeres embarazadas que participaban en un programa de fisioterapia basado en la hidroterapia experimentaban un aumento de la motivación mayor al comparar dichos resultados con un grupo cuya intervención no se realizaba dentro del medio acuático. Por su lado, otros autores han encontrado cómo una intervención sobre embarazadas mediante ejercicio dentro del agua favorece un ligero descenso de la presión arterial, tanto sistólica como diastólica (Ward et al, 2005).

Bienestar en la posmenopausia

Cuando el fisioterapeuta debe plantear una planificación de una sesión de un grupo de mujeres con posmenopausia, debe tener en cuenta que, aunque utilice ejercicios específicos de alguna parte del cuerpo concreta, será la globalidad la que determine el fin del ejercicio físico. Por ello deberán trabajarse todas las partes del cuerpo. Los ejercicios deben focalizarse sobre toda la musculatura del cuerpo, ya sea de manera global (Devereaux et al, 2005; Alberton et al, 2007) o mediante un sumatorio de ejercicios analíticos que, al final de la sesión, obliguen a trabajar toda la musculatura corporal (Tsourlou et al, 2006). Las sesiones semanales deben oscilar entre las dos sesiones propuestas por Devereaux et al (2005) y las tres sesiones que proponen Tsourlou et al (2006).

Sólo uno de los artículos consultados presenta mejoras significativas en la calidad de vida y el equilibrio a favor de la intervención en el agua, cuando se compara la hidroterapia con respecto a una sesión desarrollada íntegramente en seco (Devereaux et al, 2005).

Osteoporosis

La osteoporosis es una enfermedad esquelética sistémica que se caracteriza por la disminución de la masa o densidad ósea, con el consiguiente deterioro microarquitectónico del tejido óseo trabecular (principalmente) y cortical que provoca un aumento de la fragilidad ósea y, por tanto, del riesgo de fracturas. Cuando un fisioterapeuta inicia la planificación de un programa de hidroterapia para mujeres que sufren osteoporosis, lo primero que debe considerar es que será una intervención de largo recorrido, con una duración mínima de 6 meses y una frecuencia de tres veces por semana como mínimo. Asimismo, será necesario incluir ejercicios de resistencia que impliquen un impacto bajo pero repetido durante prácticamente toda la sesión (Ay y Yurtkuran, 2003, 2005). El tiempo de duración de cada sesión debería oscilar entre los 40 minutos, como sugieren Ay y Yurtkuran (2003, 2005) y los 60 minutos, señalados por Bravo (1997). Los ejercicios tendrán una tendencia progresiva a lo largo de las sesiones. Esta progresión se puede realizar tanto por un aumento de la duración del ejercicio (Ay y Yurtkuran, 2003, 2005) como por el aumento de la intensidad de éstos (Bravo, 1997).

Autores como Ay y Yurtkuran (2005) observaron, tras realizar un protocolo de intervención basado en hidroterapia, que este medio conseguía un incremento de la calidad y de la cantidad del hueso mayor que el ejercicio físico sin carga realizado en seco. Sin embargo, los resultados fueron equiparables cuando se comparaban con ejercicio físico en seco con carga. Las mediciones fueron realizadas en el calcáneo mediante la técnica de BUA (Broadband Ultrasound Attenuation). Los mismos autores, en otro estudio anterior (Ay y Yurtkuran, 2003), obtuvieron un incremento de las hormonas que sirven como marcadores de la calidad del hueso (calcitonina, hormona de crecimiento y parathormona), puesto que experimentaron un crecimiento comprendido entre el 36 y el 75% tras realizar un programa de hidroterapia de 6 meses de duración. La conclusión de dichos autores tras su estudio fue que «el ejercicio acuático provoca efectos anabólicos en el hueso de mujeres sedentarias posmenopáusicas». Bravo (1997) observó mejoras en la flexibilidad, agilidad, fuerza, resistencia (muscular y cardiorrespiratoria) y en la sensación de bienestar psicológico tras el protocolo de hidroterapia propuesto por dicho autor de un año de duración.

Obesidad

La obesidad se define como un aumento de la grasa corporal que hace que el índice de masa corporal se sitúe por encima de 30 a partir de la fórmula ($\text{peso [kg]} / \text{altura}^2 [\text{m}]$). Cuatro deben ser los principios sobre los cuales un fisioterapeuta base su intervención ante este tipo de pacientes. La metodología de intervención deberá ser siempre multimodal, en la cual se combine, como mínimo, el ejercicio físico controlado y la dieta (Gappmaier et al, 2006; Nagle et al, 2007). La intensidad del ejercicio debería oscilar entre el 60 y el 70% (Gappmaier et al, 2006; Nagle et al, 2007). La duración de la sesión deberá ir aumentando de manera progresiva hasta que se alcance un mínimo de 40 minutos por sesión (Gappmaier et al, 2006) y un máximo de 60 minutos (Nagle et al, 2007).

Se ha observado que el ejercicio físico en agua ayuda a reducir significativamente el peso corporal y, por tanto, otros parámetros vinculados a él. Sin embargo, no se han observado diferencias significativas en el medio donde se realizaban dichas sesiones, dentro o fuera del agua (Gappmaier et al, 2006; Nagle et al, 2007). A pesar de ello, la diferencia sí se ha encontrado en la diversión percibida por las pacientes, las cuales encontraban el ejercicio físico dentro del agua mucho más divertido y estimulador que el realizado en seco (Nagle et al, 2007).

EFFECTIVIDAD CLÍNICA DE LA HIDROTERAPIA EN LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE

Carrera en piscina profunda

Un fisioterapeuta debe considerar que la carrera en agua profunda suele tener un objetivo de mantenimiento de la condición física. Esto implica que, para que ésta no se reduzca, la fre-

cuencia de las sesiones deberá ser alta, oscilando entre tres (Gehring 1997; Davidson K, 2000; Robertson et al, 2001) y seis sesiones a la semana (Chu, 2001), y a una intensidad que se moverá entre el 60 (Chu, 2001) y el 100% (Reilly, 2003; Nelson y Brandy, 2004) de la frecuencia cardíaca máxima.

Se ha observado que la sensación de dureza física de la carrera en piscina profunda es mayor que la percepción que se tiene cuando se trabaja a la misma intensidad sobre una cinta rodante, en parámetros de frecuencia cardíaca máxima y de consumo de VO (Hamer, 1997).

Por otro lado, se ha comprobado que con la carrera en piscina profunda se obtienen los mismos efectos que con un entrenamiento realizado en seco, manteniendo el nivel de condición física de corredores de 5.000 metros que realizaron un protocolo con esta metodología (Bushman et al, 1997). Sin embargo, se ha podido comprobar que la respuesta metabólica es ligeramente inferior en las mujeres que en los hombres al realizar un ejercicio a la misma intensidad relativa (Brown, 1997a, b). Finalmente, Robertson et al (2001) comprobaron que la carrera acuática en piscina poco profunda resultaba más intensa que la que se realiza en piscina profunda.

Pliometría

El entrenamiento pliométrico implica un triple esfuerzo por parte del músculo. En primer lugar, está obligado a frenar el gesto mediante una contracción excéntrica. Seguidamente, debe realizar una contracción concéntrica para provocar el gesto contrario al que frenó y todo esto en el menor tiempo posible. Este «sobreestrés» que sufre el músculo requiere de tiempos de reposo algo más altos, por lo que es muy importante controlar adecuadamente la progresión en este tipo de programas de entrenamiento, ya que la sobresolicitación del músculo sin un descanso controlado podría conducir a la lesión muscular. Así, Martel et al (2005) proponen comenzar con tres series por ejercicio propuesto e ir aumentando una serie más cada 2 semanas de entrenamiento hasta un máximo de cinco. Por su lado, Robinson et al (2004) plantean un incremento similar, aunque dan la opción de aumentar el número de repeticiones hasta un máximo de 12 (comenzando desde ocho) como medio de progresión intermedio entre serie y serie. La frecuencia semanal oscilará entre las dos sesiones propuestas por Martel et al (2005) y las tres propuestas por Robinson et al (2004). Además, todos los autores consultados proponen una temperatura del agua siempre inferior a 30 °C, que puede oscilar entre los 25 °C propuestos por Martel et al (2005) y los 28 °C propuestos por Robinson et al (2004).

En los diferentes ensayos clínicos aleatorizados consultados se ha observado cómo el nivel de eficacia de un entrenamiento pliométrico es similar, se realice éste en tierra o en el agua. Sin embargo, concluyen que en el caso del agua, la sensación de dolor muscular es menor y, por tanto, redundante en una mayor comodidad para el sujeto (Robinson et al, 2004; Martel et al, 2005).

Entrenamiento específico y rehabilitación

El efecto que se persigue con el uso del entrenamiento en el agua va a depender del deporte concreto para el que se pretenda entrenar, por lo que cada planificación que realice el fisioterapeuta deberá estar muy centrada en los objetivos perseguidos, los cuales quedarán determinados por el deporte practicado, la capacidad física que se pretende desarrollar y el material del que se dispone.

A pesar de la diferencia en los planteamientos realizados a la hora de desarrollar los protocolos de intervención expuestos en los artículos consultados, se ha podido observar cómo todos los autores han determinado que la realización de una parte o del total del entrenamiento dentro del agua tiene un efecto positivo sobre éste. Por ello, los distintos autores recomiendan su uso, sea para diversificar la modalidad de entrenamiento (Martel et al, 2005), sea para desarrollar alguna capacidad física específica (Irvin, 2000), o sea para recuperar al atleta minimizando la pérdida de condición física (Prins y Cutner, 1999; Geigle, 2001).

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DE LA HIDROTERAPIA

Las principales contraindicaciones de la hidroterapia se pueden observar en la figura 5.1. Sin embargo, existen algunas consideraciones que realizar que si bien no son contraindicaciones propiamente dichas, sí pueden limitar en tiempo o modo la realización del tratamiento de hidroterapia. Reconocer y considerar estos elementos limitantes es muy importante para el éxito o el fracaso de nuestra intervención. Sirvan de ejemplo las anodinas en sujetos sedentarios que pueden descompensarse con el entrenamiento, y que podemos encontrar en el *aparato locomotor* (malformaciones menores, anomalías estáticas del raquis, de la rodilla y/o del pie, anomalías de las charnelas, anomalías dinámicas del pie, espondilólisis, hiperlaxitud o rigidez

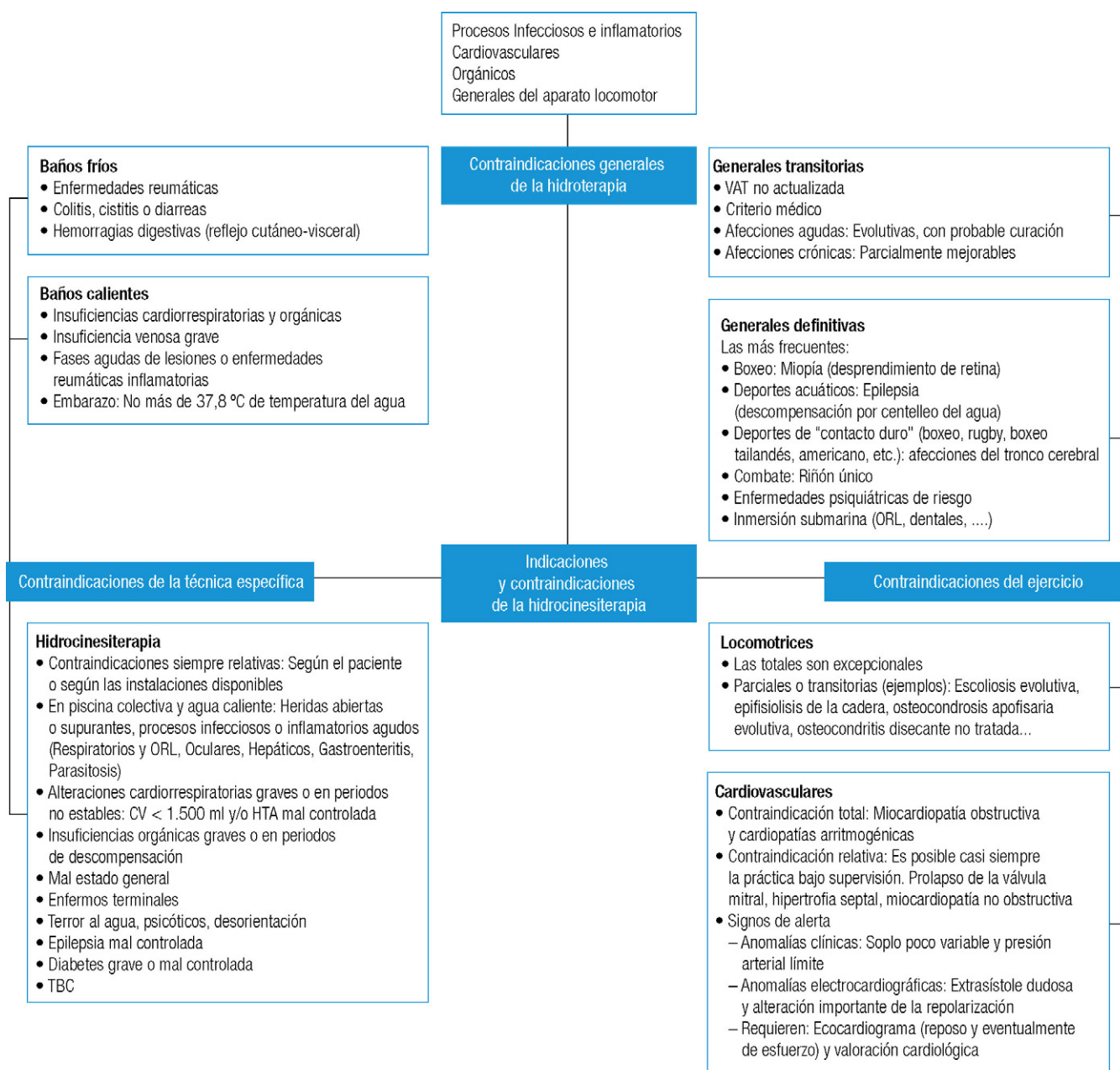


FIGURA 5.1 Diagrama de flujos de las indicaciones y contraindicaciones generales y específicas del ejercicio físico.

articular, etc.), o de manera genérica (dentadura en mal estado, fragilidad e infecciones de repetición, predisposición alérgica o inmunidad deficiente, etc.).

Por otro lado, existen algunos motivos por los que el paciente debería interrumpir temporalmente la actividad física. Esta situación se puede deber a una enfermedad recurrente, progresión de la enfermedad cardíaca, problema ortopédico, quemaduras, resaca, mareos, vértigos, deshidratación y factores ambientales, etc.

Es muy importante controlar la carga de trabajo que se le solicita al paciente, ya que pueden aparecer signos de un esfuerzo excesivo que nos obligue a replantear o a detener la intervención tanto durante la sesión como después (inmediatamente o con el pasar de las horas y los días).

Así, un programa de ejercicio físico se podría interrumpir por problemas ortopédicos agravados por la actividad, por una progresión de la enfermedad cardíaca sin respuesta al tratamiento médico, por nuevas enfermedades sistémicas agravadas por el ejercicio, por una operación quirúrgica importante, por un desequilibrio psiquiátrico o por un estado de alcoholismo agudo. Sin embargo, existen algunos indicadores que pueden ser interpretados como señales de un cambio fisiológico o de progresión de la enfermedad que, de reconocerlos, nos ayudarían a replantear el tratamiento sin tener que detenerlo; estos signos pueden ser: fatiga excesiva, jadeo, angina o cambio de los patrones típicos de angina, alteración del ritmo cardíaco, cambios en la presión arterial en reposo o en ejercicio inexplicable, aumento drástico de peso, hinchazón de las extremidades, etc.

Finalmente, existen una serie de contraindicaciones que deben ser consideradas en toda actividad física y, por ende, también en el ejercicio físico en el agua; éstas pueden ser absolutas, relativas o de segundo y tercer grado:

CONTRAINDICACIONES GENERALES ABSOLUTAS

Estas contraindicaciones son infarto de moderada reciente, angina inestable no estabilizada con medicación, arritmias cardíacas incontroladas que causan deterioro hemodinámico, estenosis aórtica grave sintomática, insuficiencia cardíaca no estabilizada, embolia pulmonar o infarto pulmonar reciente (3 meses), pericarditis o miocarditis aguda, disección aórtica, incapacidad física o psíquica para la actividad física, tromboflebitis, asma con broncoconstricción intensa e infecciones agudas.

CONTRAINDICACIONES GENERALES RELATIVAS

Estas contraindicaciones son estenosis valvular moderada anormalidades electrolíticas, hipertensión arterial grave: presión arterial sistólica superior a 200 mmHg y/o presión arterial diastólica superior a 110 mmHg, taquiarritmias o bradiarritmias, miocardiopatía hipertrófica u otras formas de obstrucción al tracto de salida del ventrículo izquierdo o bloqueo auriculoventricular.

CONTRAINDICACIONES DE SEGUNDO O TERCER GRADO

Estas contraindicaciones son embarazo avanzado o complicado, enfermedad metabólica no controlada o enfermedad infecciosa crónica.

Bibliografía

- Airaksinen O, Brox JI, Cedraschi C, Hildebrandt J, Klaber-Moffett J, Kovacs F, et al. COST B13 Working Group on Guidelines for Chronic Low Back Pain. Chapter 4. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *Eur Spine J* 2006;15(Suppl 2):S192-300.
- Alberton CL, Olkoski MM, Pinto SS, Becker ME, Kruel LFM. Cardiorespiratory responses of post-menopausal women to different water exercises. *Intern J Aquatic Res Educ* 2007;1:363-72.
- Assis MR, Silva LE, Alves AMB. A randomized controlled trial of deep water running: clinical effectiveness of aquatic exercise to treat fibromyalgia. *Arthr Rheum* 2006;55(1):57-65.

- Ay A, Yurtkuran M. Evaluation of hormonal response and ultrasonic changes in the heel bone by aquatic exercise in sedentary postmenopausal women. *Am J Phys Med Rehabil* 2003;82(12):942-9.
- Ay A, Yurtkuran M. Influence of aquatic and weight-bearing exercises on quantitative ultrasound variables in postmenopausal women. *Am J Phys Med Rehabil* 2005;84(1):52-61.
- Barker KL, Dawes H, Hansford P, Shamley D. Perceived and measured levels of exertion of patients with chronic back pain exercising in a hydrotherapy pool. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84(9):1319-23.
- Belza B, Topolski T, Kinne S, Patrick DL, Ramsey SD. Does adherence make a difference? Results from a community-based aquatic exercise program. *Nurs Res* 2002;51(5):285-91.
- Bender T, Karagulle Z, Balint GP, Gutenbrunner C, Balint PV, Sukenik S. Hydrotherapy, balneotherapy, and spa treatment in pain management. *Rheumatol Intern* 2005;25(3):220-4.
- Bilberg A, Ahlmen M, Mannerkorpi K. Moderately intensive exercise in a temperate pool for patients with rheumatoid arthritis: a randomized controlled study. *Rheumatology* 2005;44(4):502-8.
- Bravo G. A weight-bearing, water-based exercise program for osteopenic women: its impact on bone, functional fitness, and well-being. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78(12):1375-80.
- Brown S. Deep water running physiologic responses: gender differences at treadmill-matched walking/running cadences. *J Strength Condit Res* 1997a;11(2):107-14.
- Brown S. Predicting oxygen consumption during deep water running: gender differences. *J Strength Condit Res* 1997b;11(3):188-93.
- Bushman BA, Flynn MG, Andres FF, Lambert CP, Taylor MS, Braun WA. Effect of 4 wk of deep water run training on running performance. *Med Sci Sports Exercise* 1997;29(5):694-9.
- Chu C. Physiological and cardiovascular changes associated with deep water running in the young: possible implications for the elderly. *Sports Med* 2001;31(1):33-46.
- Chu KS, Eng JJ, Dawson AS, Harris JE, Ozkaplan A, Gylfaddottir S. Waterbased exercise for cardiovascular fitness in people with chronic stroke: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85(6):870-4.
- Coco M, Maugeri A, Perciavalle V. Effects induced by swim on a patient with multiple sclerosis. Case report. *Acta Medica Mediterranea* 2006;22(2):85-92.
- Cuesta-Vargas AI, García-Romero JC, De Diego-Acosta AM, González-Sánchez M, Labajos-Manzanares MT. Clinical effect of deep water running on non-specific low back pain: A randomised trial. *SA J Physiother* 2009;65(3):1-8.
- Davidson K. Deep water running training and road running training improve VO_2 max. in untrained women. *J Strength Condit Res* 2000;14(2):191-5.
- Devereux K, Robertson D, Briffa N. Effects of a water based program on women 65 years and over: a randomised controlled trial. *Austr J Physiother* 2005;51(2):102-8.
- Driver S. Effect of an aquatics program on psycho/social experiences of individuals with brain injuries: a pilot study. *J Cognit Rehabil* 2003;21(1):22-31.
- Driver S, O'Connor J, Lox C, Rees K. Evaluation of an aquatics programme on fitness parameters of individuals with a brain injury. *Brain-Injury* 2004;18(9):847-59.
- Epps H, Ginnelly L, Utley M, Southwood T, Gallivan S, Sculpher M, et al. Is hydrotherapy cost-effective? A randomised controlled trial of combined hydrotherapy programmes compared with physiotherapy land techniques in children with juvenile idiopathic arthritis. *Health Technol Assess* 2005;9(39):1-59.
- Eversden L, Maggs F, Nightingale P, Jobanpurtra P. A pragmatic randomised controlled trial of hydrotherapy and land exercises on overall well being and quality of life in rheumatoid arthritis. *BMC Musculoskelet Disord* 2007;18:23.
- Foley A, Halbert J, Hewitt T, Crotty M. Does hydrotherapy improve strength and physical function in patients with osteoarthritis – A randomised controlled trial comparing a gym based and a hydrotherapy based strengthening programme. *Ann Rheum Dis* 2003;62(12):1162-7.
- Gappmaier E, Lake W, Nelson A, Fisher A. Aerobic exercise in water versus walking on and: effects on indices of fat reduction and weight loss of obese women. *J Sports Med Phys Fitness* 2006;46(5):564-9.
- Gehring M. Water running with and without a flotation vest in competitive and recreational runners. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(10):1374-8.
- Geigle P. The effects of a supplemental aquatic physical therapy program on balance and girth for NCAA division III athletes with a grade I or II lateral ankle sprain. *J Aquatic Phys Ther* 2001;9(1):13-20.
- Getz M, Hutzler Y, Vermeer A. The effects of aquatic intervention on perceived physical competence and social acceptance in children with cerebralpalsy. *Eur J Spec Needs Educ* 2007;22(2):217-28.
- Gilbey HJ, Ackland TR, Tapper J, Wang AW. Perioperative exercise improves function following total hip arthroplasty: A randomized controlled trial. *J Musculoskeletal Res* 2003;7(2):111-23.
- Gowans SE, DeHueck A, Voss S, Richardson M. A randomised controlled trial of exercise and education for individuals with fibromyalgia. *Arthr Care Res* 1999;12(2):120-8.
- Gusi N, Tomas-Carus T, Hakkinen A, Hakkinen K, Ortega-Alonso A. Exercise in waist high water decreases pain and improves health-related quality of life and strength in the lower extremities in women with fibromyalgia. *Arthr Rheum* 2006;55(1):66-73.
- Guzman J, Esmail R, Karjalainen K, Malmivaara A, Irvin E, Bombardier C. Multidisciplinary rehabilitation for chronic low back pain: a systematic review. *Br Med J* 2001;332:1511-6.
- Hamer P. The psychophysical and heart rate relationship between treadmill and deep-water running. *Austral J Physiother* 1997;43(4):265-71.
- Hettinga DM, Jackson A, Moffett JK, May S, Mercer C, Woby SR. A systematic review and synthesis of higher quality evidence of the effectiveness of exercise interventions for non-specific low back pain of at least 6 weeks' duration. *Phys Ther Rev* 2007;12(3):221-32.

- Hutzler Y, Chacham A, Bergman U, Seinberg A. Effects of a movement and swimming program on vital capacity and water orientation skills of children with cerebral palsy. *Develop Med Child Neurol* 1998;40(3):176-81.
- Irwin R. Treatments for patients with sexual problems. *Professional Nurse* 2000;15(6):360-4.
- Jensen MP, Engel JM, Hoffman AJ, Schwartz L. Natural history of chronic pain and pain treatment in adults with cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;83(6):439-45.
- Jentoft E, Kvalvik A, Mengshoel A. Effects of pool based and land based aerobic exercise on women with fibromyalgia/chronic widespread muscle pain. *Arthr Care Res* 2001;45:42-7.
- Johnson BA, Li Y, Hartman AGC. A case study of upper extremity stroke rehabilitation using aquatic exercise techniques: a motor control and learning perspective. *J Aquatic Phys Ther* 1998;6(2):12-23.
- Jones MC, Walley RM, Leech A, Paterson M, Common S, Metcalf C. Using goal attainment scaling to evaluate a needs-led exercise programme for people with severe and profound intellectual disabilities. *J Intel Disabil* 2006;10(4):317-35.
- Jubelt B. Post-polio syndrome. *Curr Treat Options Neurol* 2004;6(2):87-93.
- Katz V. Exercise in water during pregnancy. *Clin Obstet Gynaecol* 2003;46:432-41.
- Kelly M, Durrah J. Aquatic exercise for children with cerebral palsy. *Develop Med Child Neurol* 2005;47(12):838-42.
- Kenkowitz SE, Hasson SM. Aquatic physical therapy in the treatment of a patient with simultaneous bilateral total knee arthroplasties: a case report. *J Aquatic Phys Ther* 2003;11(1):6-13.
- Keren O, Reznik J, Groswasser Z. Combined motor disturbances following severe traumatic brain injury: an integrative long-term treatment approach. *Brain Injury* 2001;15(7):633-8.
- Kent T, Gregor J, Deardorff L, Katz V. Oedema of pregnancy: a comparison of water aerobics and static immersion. *Obstet Gynaecol* 1999;94:726-9.
- Koury JM. Programa de fisioterapia aquática: um guia para a reabilitação ortopédica. São Paulo: Ed. Manole; 2000.
- Liddle SD, Baxter GD, Gracey JH. Exercise and chronic low back pain: What works?. *Pain* 2004;107(1-2):176-90.
- Lin SYC, Davey RC, Cochrane T. Community rehabilitation for older adults with osteoarthritis of the limb: A controlled clinical trial. *Clin Rehabil* 2004;18(1):92-101.
- Mannerkorpi K, Nyberg B, Ahlmen M, Ekdahl C. Pool exercise combined with an education program for patients with fibromyalgia syndrome: a prospective randomised study. *J Rheumatol* 2000;27(10):2473-81.
- Mannerkorpi K, Ahlmen M, Ekdahl C. Six- and 24-month follow-up of pool exercise therapy and education for patients with fibromyalgia. *Scand J Rheumatol* 2002;31(5):306-10.
- Mannerkorpi K. Physiotherapy group treatment for patients with fibromyalgia-an embodied learning process. *Disabil Rehabil* 2003;25(24):1372-80.
- Marklund I, Klassbo M. Effects of lower limb intensive mass practice in poststroke patients: single-subject experimental design with long-term follow-up. *Clin Rehabil* 2006;20(7):568-76.
- Martel GF, Harmer ML, Logan JM, Parker CB. Aquatic plyometric training increases vertical jump in female volleyball players. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(10):1814-9.
- McIlveen B, Robertson VJ. A randomised controlled study of the outcome of hydrotherapy for subjects with low back pain and leg pain. *Physiotherapy* 1998;84(1):17-26.
- Nagle EF, Robertson RJ, Jakicic JJ, Otto AD, Ranalli JR, Chiapetta LB. Effects of Aquatic exercise and walking in sedentary obese women undergoing a behavioural weight-loss intervention. *Intern J Aquatic Res Educ* 2007;1(1):43-56.
- Nelson RT, Bandy W. Deep water running: an alternative to distance training on land. *J Aquatic Phys Ther* 2004;12(1):17-23.
- Norton N. Effectiveness of aquatic exercise in the treatment of women with osteoarthritis. *J Aquatic Phys Ther* 1997;5(3):8-15.
- Patrick DL, Ramsey SD, Spencer AC, Kinne S, Belza B, Topolski TD. Economic evaluation of aquatic exercise for persons with osteoarthritis. *Med Care* 2001;39(5):413-24.
- Polman R, Kaiseler M, Borkoles E. Effect of a single bout of exercise on the mood of pregnant women. *J Sports Med Phys Fitness* 2007;47(1):103-11.
- Prins J, Cutner D. Aquatic therapy in the rehabilitation of athletic injuries. *Clin Sports Med* 1999;18(2):447-61.
- Reilly T. The physiology of deep-water running. *J Sports Sci* 2003;21(12):959-72.
- Robertson JM, Brewster EA, Factor KI. Comparison of heart rates during water running in deep and shallow water at the same rating of perceived exertion. *J Aquatic Phys Ther* 2001;9(1):21-6.
- Robinson LE, Devor ST, Merrick MA, Buckworth J. The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. *J Strength Condit Res* 2004;18(1):84-91.
- Roehrs T. Effects of an aquatics exercise program on quality of life measures for individuals with progressive multiple sclerosis. *J Neurol Phys Ther* 2004;28(2):63-71.
- Sanford-Smith S, MacKay-Lyons M, Nunes-Clements S. Therapeutic benefit of aqua-aerobics for individuals with rheumatoid arthritis. *Physiother Canada* 1998;50(1):40-6.
- Schrepfer RW, Fritz J. A comparison of change in visual analogue pain rating of acute low back pain patients following deep water walking or deep water hanging. *J Aquatic Phys Ther* 2000;8(2):25-8.
- Sjogren T, Long N, Storay I, Smith J. Group hydrotherapy versus group land-based treatment for chronic low back pain. *Physiother Res Intern* 1997;2(4):212-22.
- Smith SA, Michel Y. A pilot study on the effects of aquatic exercises on discomforts of pregnancy. *J Obstet, Gynaecol Neonatal Nurs* 2006;35(3):315-23.
- Stener-Victorin E, Kruse-Smidje C, Jung K. Comparison between Electro-Acupuncture and Hydrotherapy, both in combination with patient education and patient education alone, on the symptomatic treatment of osteoarthritis of the hip. *Clin J Pain* 2004;20(3):179-85.

- Suomi R, Lindauer S. Effectiveness of Arthritis Foundation Aquatic Program on strength and range of motion in women with arthritis. *J Aging Phys Activity* 1997;5(4):341-51.
- Suomi R, Kocejka DM. Postural sway characteristics in women with lower extremity arthritis before and after an aquatic exercise intervention. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81(6):780-5.
- Suomi R. Effects of arthritis exercise programs on functional fitness and perceived activities of daily living measures in older adults with arthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84(11):1589-94.
- Takken T, Van der Net J, Helden PJM. Do juvenile idiopathic arthritis patients benefit from an exercise program? A pilot study. *Arthr Rheum (Arthr Care Res)* 2001;5(1):81-5.
- Thorpe DE, Reilly M. The effect of an aquatic resistive exercise program on lower extremity strength, energy expenditure, functional mobility, balance and self-perception in an adult with cerebral palsy: a retrospective case report. *J Aquatic Phys Ther* 2000;8(2):18-24.
- Tsourrou T, Benik A, Dipla K, Zafeiridis A, Kellis S. The effects of a twenty four week aquatic training program on muscular strength performance in healthy elderly women. *J Strength Condit Res* 2006;20(4):811-8.
- Vitorino DFM, Carvalho LBCd, Prado GFd. Hydrotherapy and conventional physiotherapy improve total sleep time and quality of life of fibromyalgia patients: Randomized clinical trial. *Sleep Med* 2006;7(3):293-6.
- Vogt L. An aquatic program for adults with cerebral palsy living in group homes. *Phys Ther Case Reports* 1998;1(5):250-9.
- Wang TJ, Belza B, Thompson FE, Whitney JD, Bennett K. Effects of aquatic exercise on flexibility, strength and aerobic fitness in adults with osteoarthritis of the hip or knee. *J Adv Nurs* 2007;57(2):141-52.
- Ward EJ, McIntyre A, Van Kessel G, Hague WM. Immediate blood pressure changes and aquatic physiotherapy. *Hypertens Preg* 2005;24(2):93-102.
- Weigenfeld-Lahav I, Hutzler I, Roth D, Hadar-Frumer M. Physical and psychological effects of aquatic therapy participants after hip-joint replacement: a pilot study. *Intern J Aquatic Res Educ* 2007;1:311-21.
- Willen C, Sunnerhagen KS, Grimby G. Dynamic water exercise in individuals with late poliomyelitis. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82(1):66-72.
- Winter S. Effects of preoperative water exercise on total knee replacement patients. *J Aquatic Phys Ther* 2000;8(2):12-7.
- Winter S. Effects of aquatic lumbar stabilization and strengthening exercise protocol on chronic low back pain patients. *J Aquatic Phys Ther* 2000;10(1):11-20.
- Wyatt FB, Milam S, Manske RC, Deere R. The effects of aquatic and traditional exercise programs on persons with knee osteoarthritis. *J Strength Condit Res* 2000;15(3):337-40.

Balneoterapia, talasoterapia y climatoterapia.

Procedimientos fisioterápicos utilizados en balnearios, centros de talasoterapia y spa

M.^a Reyes Pérez Fernández*, Borja Novoa Castro**

*Doctora en Fisioterapia. Profesora de la Universidad de Vigo

**Diplomado en Fisioterapia. Profesor de la Universidad de Vigo

111

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Balneoterapia 111

- Aguas mineromedicinales 113
- Aguas con más de un gramo por litro de sustancia mineralizante 113
- Aguas con componentes especiales 115
- Aguas oligometálicas 115
- Peloides 115
- Clasificación de los peloides 116
- Acciones de los peloides 116
- Técnicas de aplicación 117

Talasoterapia 117

- Características fisicoquímicas del agua marina 119

- Efectos del agua marina sobre el organismo 119

Climatoterapia 120

Procedimientos de fisioterapia utilizados en balnearios, centros de talasoterapia y spa 120

- Vía oral 121
- Vía respiratoria o atmiátrica 121
- Técnicas locales 121
- Técnicas inhalatorias 122
- Vía tópica 122
- Técnicas sin presión 123
- Técnicas con presión 128

BALNEOTERAPIA

Se conoce como balneoterapia una parte de la terapéutica que utiliza como agente terapéutico las aguas mineromedicinales, junto con las circunstancias ambientales propias del lugar de cura y aplicadas en el lugar de emergencia, el balneario. Su utilidad hoy día es indiscutible como factor coadyuvante en el tratamiento de distintos procesos patológicos, y de importancia

trascendente en la prevención, tratamiento y rehabilitación de cuadros patológicos. La balneoterapia constituyó un elemento terapéutico fundamental hasta el primer tercio del siglo xx, un gran número de pacientes acudían a los balnearios en busca de una solución a sus problemas. En la década de 1940, la situación socioeconómica generada por las guerras, junto con el desarrollo tecnológico y el de la industria farmacéutica, provocaron que la demanda de balneoterapia quedase relegada, al ser sustituida por las nuevas posibilidades terapéuticas, más accesibles para un mayor número de personas. A partir de la década de 1980, la balneoterapia volvió a tomar protagonismo. Así, la sociedad demandaba tratamientos menos agresivos ante determinadas patologías y diferentes soluciones ante los nuevos males.

Actualmente, un importante número de personas considera que la balneoterapia engloba unas técnicas ancestrales que benefician la salud y que además es apropiada en personas mayores, pero también se cree que no existen estudios serios o de calidad que avalen a la balneoterapia como una importante parte de la terapéutica (Llor, 2008).

Mediante la balneoterapia desarrollada y aplicada en los balnearios se pueden conseguir resultados terapéuticos importantes y significativos que no sólo son aplicables a determinados grupos colectivos de personas mayores, como se tenía mal conceptualizado, sino también al resto de la población, con importantes resultados preventivos (Sarriá y Hernández, 2006).

El concepto de «balneario» de la última década del siglo xx no dista mucho de lo que era en el siglo pasado. Los modernos balnearios se pueden definir como lugares o centros especializados que utilizan el agua (en su concepción más amplia) en la recuperación, rehabilitación, alivio, prevención, mejora y cuidado de la salud integral de la persona, complementada con otras terapias, entre ellas la masoterapia o la cinesiterapia. Por lo tanto, se trata de prevenir la enfermedad, aliviar las dolencias físicas, y conservar, cuidar y mejorar la salud.

Por todo lo anteriormente expuesto, los balnearios se definen como lugares que disponen de aguas mineromedicinales declaradas de utilidad pública, servicios sanitarios e instalaciones adecuadas para llevar a cabo los tratamientos que se prescriben. El tiempo de estancia mínimo recomendado para realizar un tratamiento balneoterápico es de unos 9 días y la mejoría física se puede evidenciar con un efecto terapéutico antioxidante eficaz, efectivo y estadísticamente significativo respecto a la llegada, potenciándose al doble si se continúa hasta los 14 días de tratamiento (Sarriá y Hernández, 2006).

Actualmente, demostrar la evidencia científica ante la toma de una decisión terapéutica resulta de gran importancia; por este motivo, la fisioterapia basada en la evidencia nos da una base sólida para sintetizar y consensuar el conocimiento fisioterápico esencial sobre cualquier terapia. Por este motivo, vamos hacer un breve repaso de los beneficios ocasionados por la balneoterapia desde el punto de vista de la fisioterapia basada en la evidencia.

En primer lugar, destacaremos las patologías que más frecuentemente se han relacionado con la balneoterapia. Son numerosos los estudios realizados en diferentes países europeos, incluyendo España, que han demostrado que aproximadamente un 40% de los usuarios de los centros termale son pacientes reumáticos. Algunos de los motivos de la elevada incidencia y prevalencia de procesos reumáticos en los balnearios podrían ser, entre otros, que la patología reumatológica se encuentra entre las más frecuentes en la población general. Además, la balneoterapia ejerce una serie de acciones beneficiosas sobre muchas de estas enfermedades, y es una terapia complementaria de los tratamientos fisioterápicos y farmacológicos habituales. Por último, nuestro país cuenta con numerosos balnearios con diferentes aguas mineromedicinales y con medios materiales y humanos adecuados para tratar a estos pacientes (Sarriá y Hernández, 2006).

Teniendo en cuenta todos estos factores, entenderemos mejor que la mayor parte de los estudios se hayan realizado con pacientes de perfil reumático. La afección reumatológica más beneficiada de la balneoterapia es la patología articular crónica y degenerativa, en todas sus localizaciones (espondilartrosis, coxartrosis, gonartrosis, artrosis de las manos, etc.), porque con ella se consigue una notoria mejoría tanto sintomática como funcional, se aminora el dolor y puede retardarse la evolución del proceso (Cantarini et al, 2007; Verhagen et al, 2008;

Forestier et al, 2010). Cuando las indicaciones terapéuticas y las técnicas aplicadas son las correctas, se consiguen mejorías funcionales, sobre todo efectos analgésicos y facilitadores de la movilidad, si bien no se obtienen efectos sobre el deterioro cartilaginoso articular (Balint et al, 2007; Fransen et al, 2007; Karagulle et al, 2007).

En la lumbalgia crónica, por ejemplo, un metanálisis de cinco ensayos clínicos observó una mejora del dolor medido con una escala visual analógica en pacientes que realizaron balneoterapia (Pittler et al, 2006). También se obtuvieron buenos resultados en otro ensayo clínico llevado a cabo con aguas sulfurosas (Balogh et al, 2005). Y en un reciente estudio realizado por Kulisch et al (2009), la mejoría del grupo de intervención respecto al grupo control (en este grupo se utilizó agua corriente) se produjo antes, duró más tiempo y fue estadísticamente significativa.

En reumatismos inflamatorios crónicos que no estén en fase aguda, como la artritis reumatoide, Verhagen et al (2003) realizaron una revisión sistemática de seis ensayos clínicos. Estos autores comprobaron que existía una mejoría del dolor y de las actividades de la vida diaria con balneoterapia. En esta línea, Eversden et al (2007) observaron una mejoría subjetiva superior a la conseguida con ejercicio físico o con relajación. En la espondilitis anquilosante, la mejoría del dolor y de la capacidad funcional obtenida con balneoterapia fue superior a la conseguida con antiinflamatorios no esteroideos (AINE) (Yurtkuran et al, 2005). En otros estudios se constata una mejoría en la capacidad funcional y en las actividades de la vida diaria (Altan et al, 2006; Aydemir et al, 2010).

En cuanto a la fibromialgia, en los últimos años se han llevado a cabo diferentes estudios que confirman los beneficios de la balneoterapia en los pacientes que presentan esta enfermedad, en aspectos como disminución del dolor, mejora en la calidad de vida, incluso con una mejoría ante el insomnio (Ardic et al, 2007; Zijlstra et al, 2007; Forestier, 2009; Francon Ozkurt et al, 2011).

Respecto a otras patologías no reumáticas, se han obtenido buenos resultados utilizando la balneoterapia en patología respiratoria crónica (Lopalco et al, 2004), hipertensión arterial (Sarriá y Hernández, 2006), insuficiencia venosa (Manzini et al, 2003) o arteriopatía periférica, entre otras (Hartmann et al, 1997).

Debemos destacar que la estancia de 9 a 14 días en un balneario se asocia con la observación, en los 6 meses siguientes, de una reducción en el consumo de fármacos, hidratación de la piel, efectos neuroinmunoendocrinos, efecto antioxidante y mejora en la autopercepción de la salud (Sarriá y Hernández, 2006).

AGUAS MINEROMEDICINALES

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define el agua mineral como toda agua bacteriológicamente incontaminada, procedente de una fuente subterránea, con un mínimo de mineralización de 1g por kg de agua, o 250 mg de CO₂ libre y con propiedades favorables para la salud.

La clasificación de las aguas en función de su composición química se realiza según la mineralización total y el anión o catión predominante. Se suelen considerar como aniones predominantes los ácidos fuertes como cloruros y sulfatos, y de los ácidos débiles, los bicarbonatos. Entre los cationes predominantes destacamos sodio, potasio, calcio y magnesio. Para que uno de sus componentes pueda considerarse como predominante, debe representar más del 20% de la masa iónica expresada en miliequivalentes. Además del elemento predominante, tendremos en cuenta si posee algún elemento que pueda ejercer efectos peculiares sobre el organismo, como las aguas ferruginosas, sulfuradas o radiactivas (Torres, 2005).

Aguas con más de un gramo por litro de sustancia mineralizante

Haremos una descripción de las principales aguas que nos encontramos en España, destacando sus indicaciones y contraindicaciones, así como su ubicación en la Península Ibérica.

Aguas cloruradas

En estas aguas el elemento predominante es el cloro. Estas aguas son transparentes, inodoras, y siempre con sabor salado, en mayor o menor grado, en relación directa con su grado de mineralización. Por vía oral estimulan la secreción y motilidad gástrica e intestinal; una vez absorbidas activan el metabolismo en general. Se comportan como estimulantes del organismo. La ingestión de aguas cloruradas débiles produce estimulación de la secreción de ácido clorhídrico y de la motilidad gástrica. Estimulan la cicatrización y mejoran las afecciones óseas. Son favorables en procesos respiratorios y cutáneos. Estas aguas no deben ser administradas por vía oral en gastritis hipersecretoras, patología ulcerosa del aparato digestivo, enteritis o colitis, así como en enfermedades en las que esté contraindicado el aporte de sodio (Torres, 2005). Balnearios que cuentan con este tipo de aguas son: La Toja (Pontevedra), San Juan de Campos (Mallorca), Arnedillo (La Rioja), Arteijo (A Coruña), Caldas de Besaya (Cantabria), Caldas de Montbui (Barcelona), Fitero (Navarra), Fortuna (Murcia) y Puente Viesgo (Cantabria).

Aguas sulfatadas

El elemento predominante es el anión sulfato. Estas aguas estimulan el peristaltismo intestinal, son colagogas (que estimulan la evacuación de la bilis), coleréticas y hepatoprotectoras. Si predominan el sodio y el magnesio actúan como laxantes. Por ello, su utilización más habitual es en dispepsias digestivas y discinesias biliares. Están contraindicadas en las úlceras gastroduodenales, en las enfermedades inflamatorias intestinales, además de tener las contraindicaciones habituales de las técnicas balneoterápicas (Torres, 2005). Ejemplos de balnearios con aguas sulfatadas sódicas son Carabaña (Madrid), Fita Santa Fe (Zaragoza), Rubinat (Lérida), Loeches (Madrid); con aguas sulfatadas magnésicas: Montanejos (Castellón), San José (Albacete) y con aguas sulfatadas cálcicas: Villavieja de Nules (Castellón) o Camarena (Teruel).

Aguas bicarbonatadas

Especialmente las sódicas, se usan fundamentalmente para bebidas. Estas aguas estimulan la secreción enzimática del páncreas, aumentan el poder de saponificación de la bilis, alcalinizan la orina y también el pH gástrico; por ello, se comportan como antiácidos y alcalinizantes. Las contraindicaciones, además de las generales de los tratamientos balneoterápicos, tendremos en cuenta que en general son aguas bien toleradas, pero las aguas de alta mineralización no deberán administrarse a personas con hipertensión arterial (HTA) grave o insuficiencia renal (Torres, 2005). Como ejemplos de balnearios con aguas bicarbonatadas sódicas se encuentran Cabreiroá (Ourense), Mondariz (Pontevedra), Sousas (Ourense), Fontenova (Ourense), Caldas de Malavella, Prats y Vichy (Girona).

Aguas carbónicas

Son las últimas del grupo de más de un gramo de mineralización por litro, ya que inicialmente en el Acuerdo de Salzuflen de 1958 se definieron como aguas con más de 1.000 mg/l, pero actualmente nuestro Código Alimentario Español considera como aguas acídulas las que contengan más de 250 mg de ácido carbónico libre. Su aplicación en balneación no es frecuente en España, pero sí en Francia y Alemania. Son estimulantes del apetito, provocan una vasodilatación arteriolar y de los plexos venosos cutáneos. Por otro lado, el ácido carbónico es absorbido a través de la piel y del árbol respiratorio, y produce efectos orgánicos con disminución de las resistencias periféricas y mejora de la actividad cardíaca (efecto digitálico), así como sedación y analgesia. Como contraindicaciones, además de las generales de la balneoterapia, se encuentran las hiperclorhidias y la dilatación gástrica (Torres, 2005). Ejemplos de balnearios con estas aguas son Cabreiroá (Ourense), Mondariz (Pontevedra), Lanjarón (Granada) o Vichy (Girona).

Aguas con componentes especiales

Haremos una descripción de las principales aguas que contienen algún elemento especial, destacando sus indicaciones y contraindicaciones, así como la ubicación en la geografía peninsular.

Aguas sulfuradas

El elemento especial es el azufre. Tienen un peculiar olor a huevos podridos provocado por la liberación de ácido sulfhídrico. Deben utilizarse a pie de manantial o cercanías porque se alteran con el contacto con el aire. Se comportan como antitóxicas y desensibilizantes, por su gran capacidad oxidorreductora. Tienen materia orgánica como algas y sulfobacterias. Sus usos principales son procesos reumáticos, dermatológicos, otorrinolaringológicos y respiratorios crónicos. Las contraindicaciones son, además de las generales, procesos reumáticos en fase aguda, afecciones agudas respiratorias, crisis asmáticas o úlcera gastroduodenal (Torres, 2005). Como ejemplos de balnearios con aguas sulfuradas sódicas tenemos Laia, Arnoia, Cortegada y Carballino en Ourense, Caldas de Boí (Lérida), Cuntis (Pontevedra), Ledesma (Salamanca), Carballino (Lugo), Montemayor (Cáceres), Lugo, Retortillo (Salamanca), Carballo (A Coruña) o Guitiriz (Lugo). En el caso de aguas sulfuradas cálcicas están Carratraca (Málaga), Fuente Podrida (Valencia) o Liérganes (Cantabria). Como aguas sulfuradas cloruradas, Alceda (Cantabria), Archena (Murcia), Caldas de Reyes (Pontevedra), Caldelas de Tuy (Pontevedra), Paracuellos (Zaragoza) o Tona (Barcelona). Como mixtas: Berán (Ourense). Finalmente, con aguas sulfuradas ferruginosas se cuenta con Lobios (Ourense).

Aguas ferruginosas

Son las que contienen una cantidad mínima de 1 mg/l de hierro bivalente. Estas aguas regeneran los hematíes y estimulan la eritropoyesis; la biodisponibilidad del hierro en estas aguas es muy importante, ya que la absorción por vía oral es rápida. Están indicadas en las anemias hipocrómicas y como reconstituyentes. Sus contraindicaciones son gastroenteritis, enteritis ulcerosas, patología cardíaca y renal (Torres, 2005). Como ejemplos de estas aguas están las de Fuencaliente (Ciudad Real), Graena (Granada), Lanjarón Capilla (Granada), Incio (Lugo) y Sant Hilari (Girona).

Aguas radiactivas

Estas aguas contienen gas radón de origen natural, actúan en los sistemas endocrino, neurovegetativo e inmune, y son sedantes y analgésicas. Se utilizan en trastornos psicológicos y en afecciones reumatológicas y respiratorias crónicas. Apenas tienen contraindicaciones salvo las generales de la balneoterapia (Torres, 2005). Ejemplos de estas aguas son las de Alange (Badajoz), Caldas de Boí (Lleida), Arnedillo (La Rioja) y Fitero (Navarra), entre otras.

Aguas oligometálicas

Aguas de mineralización débil

Son aguas con muy pocos minerales en su contenido y utilizadas fundamentalmente en curas de diuresis. Muchas de ellas se emplean como «agua de mesa». Son muy bien toleradas y sus contraindicaciones son las generales de la balneoterapia (Sarriá y Hernández, 2006).

PELOIDES

El término peloide deriva del griego *Pelos*, que significa «tierra o barro». Un peloide es un agente terapéutico, compuesto por un componente sólido más o menos complejo (mineral u orgánico) y otro líquido (agua mineromedicinal, agua de mar o de lago salado). Para que un

barro, fango, limo, sedimento o producto equivalente pueda considerarse como peloides resulta imprescindible que, directamente o tras los adecuados procesos de maduración, homogeneización, eutermización, etc., pueda ser utilizado con fines terapéuticos, preferentemente termoterápicos.

Clasificación de los peloides

La clasificación de los peloides utilizados en la terapéutica según la Sociedad Internacional de Hidrología Médica y Climatoterapia se basa principalmente en las características de los componentes. Así, podemos destacar los siguientes:

Fangos o lodos

Son los más frecuentemente utilizados en los procedimientos de balneoterapia. Éstos consisten en mezclas hipertérmicas de un componente sólido, predominantemente arcilloso, y un componente líquido, de ordinario agua sulfurada, sulfatada o clorurada (Armijo y San Martín, 1994).

Limos

Están constituidos por un componente sólido, esencialmente mineral (arcilla, sílice y calizas) y un componente líquido, con mayor frecuencia agua marina o de lago salado y, más raramente, agua mineral. El componente orgánico de los limos (vegetal y animal) suele ser más elevado que en los fangos. Se utilizan sobre todo en los centros de talasoterapia situados en el Mar Negro.

Turbas

Están constituidas por un componente líquido, frecuentemente aguas minerales, y un elemento sólido compuesto por una parte de vegetales en vías de carbonización y otra parte de un componente inorgánico variable.

Biogleas

Suelen estar constituidas por agua mineral sulfurada y las algas generadas por este tipo de agua mineromedicinal. Cuando el agua mineromedicinal no es sulfurada, se denominan «otras biogleas».

Sapropelli y gyttja

Son peloides mixtos dado que su componente sólido tiene un origen orgánico-inorgánico y el componente líquido es agua termal o salina.

Parafangos o parapeloides

Son mezclas de fangos o lodos con parafina, lo que permite su fácil aplicación local, al licuarse a altas temperaturas y pasar a estado sólido a una temperatura de 42-43 °C, que es la temperatura ideal de aplicación. También permite su esterilización posterior y, por lo tanto, son utilizables en varias aplicaciones.

Acciones de los peloides

El efecto más destacado de los peloides es el termoterápico; sin embargo, pueden tener importancia otro tipo de acciones como las radiactivas, las estimulantes o las estrogénicas, entre

otras. Su acción va a depender de la temperatura (40-45 °C), de la conductividad térmica del propio peloide (en concreto, del residuo sólido), de la duración del estímulo (15-30 minutos), de si las aplicaciones son locales o generales y, por último, de la sensibilidad del sujeto. Por tanto, las principales acciones van a ser: elevación de la temperatura corporal, vasodilatación, sudoración, incremento de la actividad cardiorrespiratoria y efectos sobre la piel según los componentes y el agua con la que están mezclados (Codish et al, 2005).

Técnica de aplicación

Se distinguen dos pautas principales de procedimientos de aplicación de peloides: los que son de tipo general en forma de baños, de mayor o menor extensión, y las aplicaciones locales:

1. En baños. El peloide se coloca en bañeras, adecuadamente homogeneizado y termalizado. Este método de aplicación se usa poco, debido a la gran cantidad de peloide necesario. Actualmente hay bañeras que incorporan unos materiales en forma de lona que, al adaptarse al cuerpo de la persona, permiten un relleno de la bañera desde el interior, consiguiendo así que la cantidad de peloide que hace falta para el llenado de la bañera (cubriendo toda la superficie corporal del paciente) sea sensiblemente inferior, lo que permite más aplicaciones con la misma cantidad de peloide. También contamos con el denominado método egipcio, que fue el precursor de los baños totales y que consiste en el envolvimiento completo del cuerpo y la posterior exposición al sol; el barro se elimina con un baño de agua mineromedicinal o con agua de mar.
2. Baños parciales. El paciente sumerge la zona a tratar como medio cuerpo, o alguna de sus extremidades total o parcialmente, en piletas adecuadas que contienen el peloide.
3. Aplicación local. El peloide se aplica de forma directa o previamente extendido sobre una lona o tela impermeabilizada de tamaño adecuado a la zona que se va a tratarse. La temperatura variará en función de la tolerancia del paciente (40-45 °C). Posteriormente se recubre bien con toallas u otro material para mantener el calor el mayor tiempo posible, y se mantiene durante 20-30 minutos (figs. 6.1-6.3).

117

TALASOTERAPIA

La eficacia del agua del mar en el tratamiento de diferentes enfermedades es conocida desde antiguo. Así, Hipócrates recomendaba los baños de agua de mar para tratar erupciones cutáneas pruriginosas (eccemas) y todo tipo de herida simple o llaga que no estuviera infectada. Además, empleó el agua del mar, tanto fría como caliente, mostrando cómo, incluso con



FIGURA 6.1 Aplicación local de parafango en la columna cervical.



FIGURA 6.2 Aplicación local de parafango en la columna lumbar.



FIGURA 6.3 Aplicación local de parafango en el tronco.

aplicaciones de agua de mar, se detenía la evolución perniciosa de úlceras cutáneas (Pérez-Fernández, 2005).

Al igual que la balneoterapia, la talasoterapia tuvo épocas de auge y decadencia, y también como ella, las comprobaciones empíricas fueron su base metodológica durante mucho tiempo. Sin embargo, en los últimos años, investigadores de diferentes países han llevado a cabo estudios que han dotado a la talasoterapia de evidencia científica, incluyendo esta parte de la terapéutica dentro de la fisioterapia basada en la evidencia.

En reumatología, la capacidad antiinflamatoria y analgésica del agua de mar ha sido estudiada por Sukenik et al en el año 2006. En este trabajo se reflejan los buenos resultados obtenidos con pacientes afectados de artritis reumatoide, fibromialgia, espondilitis anquilosante, artritis psoriásica y procesos no inflamatorios articulares en aguas del Mar Muerto. En patología degenerativa de rodilla, el baño a 35 °C con agua de mar se acompaña de una mejoría clínica, que aumenta si el baño es con agua del Mar Muerto (Sukenik et al, 1995). La talasoterapia combinada con ejercicio físico también ha demostrado sus efectos terapéuticos beneficiosos en patologías como la fibromialgia; los pacientes presentan una mejoría en la sintomatología dolorosa, la fatiga, la anquilosis, la ansiedad y una menor frecuencia de cefaleas, insomnio e inflamación subjetiva de las articulaciones, así como de la capacidad funcional (Buskila et al,

2001; Zijlstra et al, 2005). Respecto a la mejora en la calidad de vida, Neumann et al (2001) evidenciaron la mejoría de los pacientes afectados de este proceso. En los pacientes afectados de espondilitis anquilosante, artritis reumatoide y artritis psoriásica, diferentes estudios han demostrado una mejoría en la sintomatología del dolor y en la capacidad funcional (Sukenik et al, 1994, 1995; Codish et al, 2005).

Características fisicoquímicas del agua marina

La talasoterapia combina tres medios físicos distintos. El principal es el agua marina, que está compuesta por más de 92 elementos pertenecientes a la tabla periódica y por numerosas sales minerales, oligoelementos que son imprescindibles para el hombre. Además, hay que sumar los rayos ultravioletas que son necesarios para la desbacterización y la pigmentación de la piel. Y, por último, el clima marino, que favorece la penetración de los mismos en el cuerpo, dependiendo de la altitud según el nivel del mar.

Ritter describió el agua de mar como una solución coloidal de una composición tan variada que resulta imposible pensar en obtener su síntesis. Esto, sumado a los beneficios que aporta el hecho de encontrarse en continuo movimiento por el oleaje, corrientes marinas, etc., y el que las investigaciones biológicas y químicas hayan mostrado la similitud constitutiva del agua del mar y del plasma sanguíneo, la hacen perfecta desde el punto de vista terapéutico (Giménez, 2005).

El grado de mineralización del agua de mar oscila entre los 30 y 35 g de sales por litro, dependiendo de las características del mar, si es cerrado o abierto, la latitud, si es grande o pequeño, si afluyen grandes ríos o no, entre otros factores. El Mar Muerto, por ejemplo, destaca por la alta concentración de sales frente a la menor concentración de los Océanos Atlántico o Pacífico. Los minerales con mayor presencia en el agua de mar son, por este orden: cloro, sodio, magnesio, azufre, calcio, potasio, bromo, carbono, estroncio, boro y silicio (Giménez, 2005).

El oleaje, por acción de viento, hace penetrar en el cuerpo, de manera centrípeta, los elementos disueltos en el agua marina. Por otro lado, nuestra musculatura ejerce una resistencia que permite su fortalecimiento, además de tonificar el cuerpo con un micromasaje que provoca una sensación de bienestar y que estimula la psicomotricidad del individuo (Aramburu et al, 1998; Cuesta y Guillén, 2005; Torres y Angosto, 2005).

Efectos del agua del mar sobre el organismo

Desde el punto de vista terapéutico son importantes los siguientes factores: la temperatura del agua y su relativa estabilidad, la densidad y composición química, el papel de las corrientes marinas, las mareas y las olas y las radiaciones solares, así como las algas marinas y otros recursos relacionados.

A pesar de que la acción sobre el organismo de los componentes del agua de mar es objeto de discusión por parte de algunos investigadores, numerosos trabajos demuestran que, además de los iones Cl^- y Na^+ , otros componentes menos abundantes del agua marina pueden penetrar en la piel y participar en el metabolismo de los bañistas (Armijo y San Martín, 1994).

La inmersión en el agua de mar produce el efecto de un baño frío. Se reacciona con un estrechamiento inicial, con palidez, vasoconstricción, seguida de una reacción de vasodilatación. Esta reacción se produce espontáneamente y resulta más beneficiosa si se nada o se realizan ejercicios. Esto se debe a que hay una reacción del sistema circulatorio, las pequeñas venas de la piel se dilatan de nuevo y se constriñen las venas profundas, así como los órganos internos. La sangre fluye de las zonas internas del organismo (descongestionándolo) hacia la piel y lo hace de una forma más rápida de lo habitual. El efecto descrito supone un masaje estimulante para el sistema circulatorio y los órganos. Además, el organismo intenta compensar la pérdida de calor aumentando el ritmo del metabolismo, lo que significa un estímulo de los procesos nutritivos y digestivos. Tiene un efecto tonificante para el sistema nervioso, lo cual produce un equilibrio del sistema vegetativo y una sensación subjetiva de bienestar general (Giménez, 2005).

A la acción del estímulo frío se añade el estímulo mecánico del movimiento del agua. Este movimiento determina una acción mecánica de rozamiento, percusión y masaje.

Para la aplicación del agua de mar en los centros de talasoterapia se utilizan las mismas técnicas y los mismos protocolos que con las aguas mineromedicinales cloruradas. Las principales indicaciones de la talasoterapia son las mismas que en las curas balnearias: el dolor osteoarticular crónico, dermatológicas, respiratorias, otorrinolaringológicas y ginecológicas (San José, 2008).

CLIMATOTERAPIA

Sabemos desde antiguo que el clima tiene una importante acción sobre el organismo del hombre. Con la climatoterapia se hace uso de esa acción para el tratamiento de algunas enfermedades. Es una modalidad terapéutica basada en aprovechar los elementos climáticos de una determinada zona geográfica para tratar diversas enfermedades como las cutáneas. Sin embargo, la ausencia de estudios basados en la evidencia ha planteado que la climatoterapia no siempre sea aceptada por la comunidad científica.

Entendemos por climatoterapia la unión de las acciones terapéuticas relativas al sol, al aire y a la luz. El baño de aire es la exposición del cuerpo al aire cuando éste produce sensación de frío; esta impresión se siente cuando la temperatura es inferior a 18 °C y produce una acción reguladora y tranquilizante. El baño de luz es la exposición de la piel al sol; se inicia de los 18 °C hasta los 35 o 38 °C y produce una acción sedante sobre los centros nerviosos. El baño de sol es la exposición de la piel al sol; se inicia a partir de 35-38 °C, provocando una acción estimulante, con una sobreactividad de la circulación sanguínea y del sistema nervioso.

Desde el punto de vista terapéutico nos encontramos con dos grandes grupos de climas, los continentales y los marinos. Los climas continentales se dividen en varios tipos según la altitud. Los climas de alturas (montañas) fortalecen los movimientos respiratorios y cardíacos, y estimulan la producción de los glóbulos rojos de la sangre y también el apetito; los climas de montaña son convenientes para los pacientes convalecientes de enfermedades graves o de larga duración, así como para los que padecen de agotamiento físico y mental, los anémicos y, si la región es seca y soleada, los que sufren de asma, bronquitis crónica y tuberculosis ósea o pulmonar. Los climas de baja altitud (planicies) resultan apropiados para los enfermos sensibles a los cambios violentos de ambiente y a la altura, tranquilizan sobre todo a los que sufren de trastornos nerviosos y desequilibrios psíquicos y, según la región, pueden beneficiar también a los que sufren ciertos tipos de bronquitis.

Por otra parte, los climas marinos se caracterizan por la pureza del aire, el elevado grado hidrométrico, la intensidad de la luz y la frecuencia del viento. Tienen una acción terapéutica sobre el apetito, mejorándolo, y favorecen un adecuado funcionamiento intestinal y gástrico. Además, activan la circulación sanguínea y disminuyen el ritmo de las contracciones cardíacas, aumentando la producción de glóbulos rojos. También estimulan los movimientos respiratorios y la oxigenación general del organismo. En resumen, los efectos fisiológicos son simultáneamente tonificantes, estimulantes y reconstituyentes. En España, la costa mediterránea presenta un clima adecuado para los enfermos con patologías articulares degenerativas. Las costas cantábrica y atlántica se caracterizan por una temperatura más regular, con frecuentes lluvias y vientos y están especialmente indicadas en procesos cardíacos y nerviosos, entre otros.

PROCEDIMIENTOS FISIOTERÁPICOS UTILIZADOS EN BALNEARIOS, CENTROS DE TALASOTERAPIA Y SPA

Los procedimientos fisioterapéuticos de balneoterapia deben realizarse en el lugar de emergencia de las aguas, es decir, en un balneario, que siempre estará situado en las inmediaciones de los manantiales mineromedicinales. Existen varios motivos para que esto se realice así;

entre ellos se encuentra la variación de la temperatura, por la pérdida de radiactividad y por las modificaciones de pH y otras propiedades que producen alteración en la composición, ya que las aguas mineromedicinales tienen un frágil equilibrio químico y su almacenamiento, por lo general, hace precipitar diversos componentes, lo cual varía la composición y puede alterar las propiedades terapéuticas (Sarriá y Hernández, 2006).

En general, existen tres vías de administración de las aguas mineromedicinales: la vía oral, la vía respiratoria y la vía tópica, que pasamos a describir junto con los diferentes procedimientos de aplicación empleados en fisioterapia.

VÍA ORAL

Es lo que se describe como la toma de agua bebida o *cura hidropónica*. Consiste en la ingestión de una cantidad determinada de aguas mineromedicinales durante un tiempo variable, que al igual que otra medicación, se administra una o varias veces al día durante un número concreto de días. La cantidad, el ritmo diario y el número de días variarán en función del tipo de agua mineromedicinal, la enfermedad de que se trate y el estado del paciente.

VÍA RESPIRATORIA O ATMÍATRICA

Se utiliza el agua mineromedicinal sin fármacos ni otras soluciones. El objetivo es que el agua mineromedicinal y sus gases lleguen a las distintas partes del árbol respiratorio. La zona rino-bronquial es fácilmente accesible; sin embargo, las cavidades anexas como los senos y el aparato tubotimpánico son de complicado acceso. Por ello existen una gran variedad de técnicas en la administración de las aguas mineromedicinales. Podemos dividir éstas en técnicas locales y técnicas inhalatorias.

Técnicas locales

Consisten en la administración del agua, vapores o gases para que actúen con un efecto mecánico descongestionante y detergente. La aplicación se realizará a una temperatura comprendida entre 35 y 40 °C para que las mucosas se preparen para las administraciones inhalatorias. Cada una de las zonas de aplicación recibirá diferentes técnicas que describiremos a continuación:

Fosas nasales y cavum

1. Baño nasal. Se utiliza una pipeta de 50 ml y se realizan una-dos aplicaciones en cada narina; la posición puede ser bien en hiperextensión cervical o bien con la cabeza ladeada.
2. Irrigación nasal. Similar a la anterior, pero se utiliza más cantidad de agua mineromedicinal, que está contenida en un depósito elevado, por lo que baja con cierta presión. Permite un lavado local del cavum y de las fosas nasales.
3. Lavado retronasal. Está indicado para el tratamiento de la nasofaringe; se utiliza una cánula metálica especial que hace penetrar el agua directamente en la nasofaringe y se expulsa por las narinas.

Senos

1. Método Proetz. El agua mineromedicinal llega directamente a los senos. Este lavado se fundamenta en el «efecto Venturi»: que se fundamenta en que cuando por un tubo circula una corriente de agua o aire y al mismo se le aplica una conexión colateral a 45°, por esta conexión se producirá una aspiración. De este modo, si por una fosa nasal introducimos el agua mineromedicinal y la aspiramos desde la fosa nasal opuesta, se creará un circuito que activará los circuitos colaterales (senos paranasales), aspirándolos.

Faringe

1. Gargarismos. Muy utilizados para la limpieza de las amígdalas.
2. Pulverización faríngea. El agua mineromedicinal se pulveriza por un tamiz y se dirige a la faringe después de que el paciente mantenga la lengua apoyada en la base de la boca.
3. Ducha faríngea. Similar a la pulverización, pero más precisa.

Oído medio

1. Insuflación tubo-timpánica. Esta técnica consiste en aplicar gas termal en las trompas de Eustaquio por medio de una sonda específica. Debe ser realizada por un profesional especialista en otorrinolaringología.

Técnicas inhalatorias

Tratan la mucosa respiratoria en su conjunto desde las fosas nasales hasta las divisiones bronquiales y alveolares. El efecto terapéutico estará ligado al tipo de aguas mineromedicinales y a las técnicas utilizadas y únicamente se emplearán aquéllas.

La penetración en el árbol respiratorio depende de varios factores: la inercia, el peso de las gotas, el diámetro (a menor diámetro mayor inercia, se hace dominante el frotamiento y se facilita la suspensión), la velocidad y la movilidad de aire inspirado. La administración de agua mineromedicinal por vía inhalatoria precisa un adecuado diámetro de gota. Así, en las técnicas de aspiración por vía bucal se emplean gotas de agua de hasta 30 μm , que alcanzan la tráquea con facilidad. Este diámetro se reducirá hasta los 15 μm si la inspiración se realiza por la nariz. Si queremos que penetre en el bronquiolo, el diámetro no debe ser superior a 5 μm . Sin embargo, también debemos tener en cuenta que con este diámetro las gotas son espiradas más fácilmente. Para que las gotas alcancen el alveolo, los diámetros deben ser inferiores a 0,5 μm . En todas estas aplicaciones la temperatura del agua se sitúa entre los 32 y los 35 °C. Existen varias técnicas que exponemos a continuación:

1. *Vaporarium*. También conocido por *humage*, consiste en la aspiración directa de los gases y vapores que ciertos manantiales emanan de forma natural, al mismo tiempo que brota el agua mineromedicinal. También se denomina *vaporarium* al recinto, bien sea galería natural o cueva artificial, del que muchos balnearios disponen para aprovechar los efluvios gaseosos, donde se administran sin alterar la temperatura ni el grado de vaporización a la que brota el agua. Las aguas que se suelen utilizar son las sulfuradas cálcicas, porque suelen tener gran cantidad de hidrógeno sulfurado libre (Sarriá y Hernández, 2006).
2. Nebulizaciones. Se emplean para el tratamiento de las vías respiratorias superiores, sobre todo laringe y tráquea. Consisten en la inhalación de una atmósfera caliente y saturada de vapor termal que se produce por la rotura del agua contra una superficie dura y que forma unas gotas cuyo diámetro se sitúa entre 15 y 30 μm .
3. Aerosol. Es el tratamiento más indicado en vías respiratorias inferiores. Consiste en la dispersión del agua mineromedicinal en un medio gaseoso, mediante generadores que producen gotas con un diámetro medio de unos 5,5 μm . Pueden usar vapores (*vaporarium*), gases (*emanatorium*), agua pulverizada (inhalaciones colectivas) o aerosolizada (aerosol colectivo). Hay distintos tipos de aerosoles: neumático, manosónico, ultrasónico y electroaerosol (Sarriá y Hernández, 2006).

VÍA TÓPICA

Es la aplicación más importante y utilizada en la mayor parte de los balnearios. Las técnicas que emplean este tipo de vía pueden estar incluidas en diferentes clasificaciones. Usaremos para este capítulo la clasificación según la presión a la que se aplica el agua. Además, cada una

de estas técnicas puede clasificarse, a su vez, según la temperatura del agua (fría, tibia, indiferente, caliente y muy caliente), según la zona de aplicación (local/parcial, total/general) y según la duración de la aplicación.

Técnicas sin presión

Son las técnicas más utilizadas en medicina naturista. Sus precursores, Priessnitz y Kneipp, las emplearon como antipiréticas, sedantes, relajantes musculares y estimulantes del sistema vascular periférico. El objetivo de estas técnicas es termoterápico, y el estímulo térmico es proporcional a la diferencia de temperatura entre el agua y la piel, y depende de la superficie tratada y de la duración del estímulo. Sin embargo, habitualmente su aplicación es con agua fría, de corta duración y producen estímulos breves.

1. **Compresas.** Son aplicaciones locales de agua mediante paños doblados en varias ocasiones que se colocan, una vez escurridos, sobre la piel; rápidamente se cubren con una toalla seca y después con un paño de lana, envolviendo por completo estos dos últimos la zona sobre la que se ponen. Al igual que las envolturas, pueden ser frías (10-20 °C) o calientes (38-44 °C). Las compresas frías se mantienen durante un período de tiempo que oscila entre los 10 y 60 minutos, renovándolas cada 10 minutos para que se mantenga el efecto térmico. Las compresas calientes permanecerán entre 30 y 120 minutos (Riquelme y Moreno, 2005).
2. **Fomentos.** Son un tipo de aplicación muy parecido a las compresas, se diferencian en la temperatura (60-70 °C) y en que van cubiertos por un tejido impermeable y por otro seco.
3. **Envolturas.** Se emplean habitualmente para variar la temperatura corporal y provocar la sudoración. Según se quiera aumentar o disminuir dicha temperatura, las envolturas serán frías o calientes. En aplicaciones frías se moja una sábana porosa y gruesa en agua fría (entre 10 y 20 °C), se envuelve al paciente ajustando bien el tejido al cuerpo y se tapa con una sábana seca, porosa y ligera, que sobrepase en 3 a 5 cm a la húmeda y sobre ella se coloca una manta de lana o de franela. Cuanto más se quiera disminuir la temperatura corporal, más se mojará la primera sábana y menos tiempo mantendremos la aplicación. Esta técnica provoca una vasoconstricción periférica con taquipnea y aumento de la frecuencia cardíaca. Transcurridos unos minutos, el organismo reacciona con una vasodilatación periférica e hiperemia secundaria, con la consiguiente producción calórica en la capa de aire caliente que se crea entre la envoltura y el cuerpo, susceptible de producir sudoración y sedación en el área corporal tratada. En el caso de que usemos la envoltura fría como procedimiento antipirético, lo haremos con un paño muy mojado y poco escurrido que renovaremos cada 15-30 minutos. También es posible usar envolturas con hielo para el tratamiento de contusiones, hematomas y esguinces. En las envolturas calientes se usa el mismo sistema, con la variación de que el agua, en esta ocasión, es caliente (entre 40 y 45 °C). El efecto producido es la elevación de la temperatura corporal, vasodilatación periférica, gran sudoración, sedación y relajación muscular. Este tipo de envolturas estaría indicado para reducir la rigidez articular en reumatismos crónicos degenerativos o inflamatorios (Riquelme y Moreno, 2005).
4. **Lavados o abluciones.** Son aplicaciones de agua fría (12-16 °C) directamente sobre la piel, sin presión, hechas con la mano desnuda, un guante, una esponja o un paño de lino. Se pueden realizar sobre todo el cuerpo o sobre determinadas zonas. En pacientes sensibles se puede emplear el agua a una temperatura mayor (20-23 °C). Al finalizar es recomendable reposar abrigado y sin secar durante 1-2 horas. Como norma general, en todas las aplicaciones de agua fría el cuerpo debe estar caliente antes y después de la aplicación. Así, nunca se hará una aplicación fría en pacientes con escalofríos o con los pies fríos, o en habitaciones frías. Después de la aplicación, el paciente permanecerá en reposo y bien abrigado. Se utilizan sobre todo en estados febriles (favorecen la sudoración y ayudan a reducir la hipertermia). También pueden emplearse para activar la circulación sanguínea y para estimular la acción cardíaca y respiratoria. Se busca aumentar la resistencia general del organismo,

por lo que suelen combinarse con otras técnicas fisioterápicas como cinesiterapia y masoterapia (Riquelme y Moreno, 2005).

5. Afusiones. Consisten en una aplicación de agua en sentido centrípeto y de forma suave sobre la superficie corporal a una distancia de 20-60 cm. Hay diferentes modalidades de aplicación, pero las más empleadas son las frías (10-16 °C), durante 3-5 minutos, seguidas de las aplicaciones alternas, comenzando con agua caliente (38-42 °C) durante 1-2 minutos y a continuación con agua fría, durante 20 segundos. Se realizan varios ciclos, comenzando por el calor y terminando por el frío. Como complemento a la técnica se le aplica un masaje estimulante para posteriormente realizar un reposo abrigado durante 30-60 minutos. Tienen una acción estimulante, con aumento de la profundidad de los movimientos respiratorios y la activación del sistema nervioso (Sarriá y Hernández, 2006).
6. Baños. Consisten en la inmersión del paciente en una bañera llena de agua. Este tipo de baños, a los que no se les aplica presión al agua, pueden, a su vez, clasificarse según la temperatura del agua, la extensión de la superficie corporal tratada, o si llevan aditivos.

Baños según la temperatura del agua

1. Baños fríos. La temperatura del agua debe ser inferior a 34 °C, y su duración, inversamente proporcional a dicha temperatura, de manera que a 15-18 °C debería durar entre 10 y 30 segundos. Antes del baño, es adecuado realizar algún precalentamiento y después mantener un reposo abrigado.
2. Baños a temperatura indiferente. Están indicados en el tratamiento de procesos dermatológicos y en la patología psiquiátrica.
3. Baños tibios. Con este tipo de aplicación se pretende obtener un efecto sedante y relajante muscular (fig. 6.4).
4. Baños calientes. La temperatura del agua oscila entre los 38 y los 40 °C, tienen una duración de 10-20 minutos y no deben exceder los 30 minutos. Debemos tener en cuenta que a mayor temperatura del agua, menor duración del baño. Al finalizar se recomienda la aplicación de una ducha y un secado rápido, debiendo reposar una hora hasta que cesen la sudoración y la vasodilatación periférica. Son baños muy bien tolerados, pero tienen un efecto hiperémico de menor intensidad y duración que el baño frío (Riquelme y Moreno, 2005) (fig. 6.5).
5. Baños muy calientes. La temperatura del agua se sitúa en el límite de la tolerancia del paciente y si supera los 39 °C no excederá de los 3 minutos. Los efectos son los mismos que los del baño caliente, pero más intensos, sobre todo en procesos inflamatorios crónicos y en heridas sépticas, panadizos, furúnculos, etc. (Riquelme y Moreno, 2005)



FIGURA 6.4 Baño tibio con efecto relajante.



FIGURA 6.5 Reposo en sillón térmico.

6. Baños de temperatura ascendente. Se inician a 36 °C y paulatinamente se va añadiendo agua caliente, con el objetivo de conseguir ascensos de 1 °C cada minuto, hasta llegar a los 38-40 °C, y tienen una duración de 15-25 minutos; al finalizar se aplica brevemente agua fría y el paciente reposa abrigado durante una hora (Sarriá y Hernández, 2006).
7. Baños de temperatura descendente. La temperatura desciende 1 °C por minuto, desde la temperatura indiferente hasta los 25-27 °C. La duración no debe exceder de los 5-7 minutos. Estos baños actúan estimulando el metabolismo, disminuyendo la fiebre, hipotonías, asma bronquial y como calmantes en estados de hiperexcitabilidad y nerviosismo (Riquelme y Moreno, 2005).
8. Baños alternantes o de contraste. Utilizan la alternancia de agua fría (10-25 °C), con agua caliente (38-44 °C), colocadas en dos recipientes distintos. La aplicación comenzará introduciendo la región que debe tratarse en el baño caliente durante 3 minutos y continuando con el baño frío durante un minuto, de forma alternativa. El cambio se efectuará con rapidez, finalizando el tratamiento en agua caliente con una duración total de 15 minutos, esto es, cuatro veces en agua caliente y tres veces en agua fría. El objetivo que buscamos es producir un efecto vasodilatador. Por el contrario, si pretendemos obtener un efecto vasoconstrictor o antiinflamatorio, el tratamiento se inicia y se termina en el agua fría durante un minuto y continuando con el baño caliente durante 3, 2 y un minuto, de forma alternativa; el tiempo total de tratamiento será de 10 minutos, esto es, cuatro veces en agua fría y tres veces en agua caliente. Se recomienda que el paciente movilice la zona afectada durante el tratamiento, bien de forma activa o bien asistida por el fisioterapeuta en el baño caliente.

Baños según la superficie corporal tratada: baños parciales y baños totales

Baños parciales

1. Maniluvio. Son baños indicados para antebrazos y, sobre todo, para manos. Se toman habitualmente calientes (38-39 °C) o alternantes; estos últimos están indicados en el síndrome doloroso regional complejo tipo I, en la enfermedad de Raynaud o antes de empezar la movilización tras un proceso traumático que curse con inflamación y edema.
2. Pediluvio. Son baños para pies y piernas, hasta las rodillas. Se suelen utilizar principalmente como baños de contraste (fig. 6.6).
3. Semicupio o de asiento. Es un baño selectivo para los órganos pelvianos.
4. Baño intestinal. Se usa para lavados intestinales en el recto (impactación fecal) y para la expulsión de cálculos del aparato urinario.
5. Baño de medio cuerpo. El agua llega hasta la cintura.



FIGURA 6.6 Aplicación de pediluvios.

6. Baño de tres cuartos. El agua llega hasta el pecho.
7. Baño parcial de vapor. Los de cabeza y tronco se utilizan para afecciones del árbol respiratorio superior y los de extremidades, para afecciones reumatológicas.

Baños totales

Como se han descrito en el apartado «Baños según la temperatura del agua», aquí sólo comentaremos los diferentes tipos de baños con aditivos.

1. Baños carbogaseosos. Pueden ser con aguas carbogaseosas naturales, con o sin carbónico añadido. En este tipo de baños el carbónico es más estable y se distribuye de forma más homogénea, pues la burbuja es más fina. En los baños con carbónico añadido desde una bala, si el gas no está estabilizado, se aconseja incorporar al agua entre 2 y 4 kg de sal para mejorar la fijación de aquél. La temperatura de aplicación no es muy alta (32-34 °C) porque el dióxido de carbono disminuye la conductividad térmica y se pueden aguantar temperaturas menores sin sensación de frío. La duración inicial es de 5 a 10 minutos aumentando de manera progresiva hasta los 20 minutos. Las acciones terapéuticas de este tipo de baños son las derivadas de la absorción por vía tópica y respiratoria del gas, provocando una vasodilatación periférica y activación de la apertura de nuevos capilares (hiperemia). Además, en el corazón aumenta el volumen sistólico y mejoran el flujo venoso y linfático. Este aumento de la circulación estimula la actividad renal, lo que favorece la eliminación de líquidos. Las glándulas endocrinas aumentan la producción hormonal y el sistema neurovegetativo reduce su actividad. Así, los efectos de analgesia, sedación, modificaciones metabólicas e incremento de la actividad respiratoria y cardíaca conseguidos con estos baños se atribuyen a la estimulación de las terminaciones nerviosas sensibles al dióxido de carbono. La inhalación prolongada de carbónico puede producir alteraciones del sistema nervioso, como cefaleas y depresión de éste, por lo que se debe recomendar al paciente que esté lo más inmóvil posible.
2. Baños con aceites esenciales. Se vierte en el agua un aceite esencial, que debe ser añadido durante la fase de llenado para facilitar su emulsión. Los aceites esenciales no se disuelven en agua, por lo que se hace necesaria su dilución en otros medios como leche en polvo, tensoactivos (jabón, gel), determinados preparados cosméticos (lociones, cremas, fluidos), etc. Los más empleados por sus acciones terapéuticas relajantes son amaro, azahar, ciprés, espliego, manzanilla, mejorana, rosa y sándalo. Como aceites tónicos estimulantes contamos con albahaca, cardamomo, enebro, hisopo, menta piperita y romero. Entre los de acción analgésica se encuentran amaro, manzanilla, mejorana, eucalipto, incienso, romero

y enebro. Entre los de acción antibacteriana tenemos bergamota, espliego, eucalipto, romero y enebro. Entre los de acción antiespasmódica, albahaca, alcanfor, amaro, azahar, bergamota, cardamomo, ciprés, enebro, espliego, eucalipto, hinojo, hisopo y manzanilla. Y, finalmente, podemos emplear los de acción refrescante: albahaca, bergamota, ciprés, espliego, geranio, limón y menta piperita.

3. Baños con extractos vegetales. Los baños de corteza de encina o roble tienen un efecto astringente y son útiles en el tratamiento de eccemas y úlceras. Por su parte, los baños de heno, de avena, de trigo, manzanilla y lavanda son sedantes, relajantes, cicatrizantes y antiinflamatorios.
4. Baños de espuma. Se preparan haciendo pasar aire o gas a través de una solución saponificada al 1/10.000. La temperatura de aplicación se sitúa entre los 37 y los 42 °C, y la duración oscila entre los 15 y 20 minutos. Están indicados en problemas de gota, obesidad, polimialgias, en determinados cuadros neurológicos y en algunos procesos reumáticos.
5. Baños de oxígeno. Son baños a los que se les incorpora oxígeno desde una bala o a través de una reacción química. Se aplican a una temperatura de 35-37 °C, con una duración de 10 a 20 minutos. Al incorporar oxígeno reducimos la presión hidrostática, que provoca una reacción local de ligero hormigueo o picazón, facilitando el trofismo celular. En general tienen un efecto hipotensivo, bradicárdico, relajante y de sedación e inducción del sueño. Están indicados en algunos tipos de cardiopatías, neumopatías o caquéticos.
6. Baños de ozono. Se incorpora al agua de baño ozono, obtenido por generadores de aire ozonizado. No se deben sobrepasar los 300 mg/h de O₃. Estos baños se aplican a una temperatura de 36-38 °C y con una duración de 10 a 15 minutos. Concentraciones entre 1 y 2 ppm pueden producir cefaleas. Asimismo, concentraciones mayores o iguales a 2 ppm provocan irritación de las vías respiratorias y concentraciones mayores de 10 ppm causan graves alteraciones respiratorias o nerviosas. Estos baños tienen una acción microbicida-esterilizante, de masaje suave superficial, de activación de la circulación periférica, desodorante, activadora del trofismo celular, antiinflamatoria, relajante muscular, sedante, reguladora del sistema nervioso y facilitadora de la función respiratoria. También se han utilizado estos baños en alteraciones degenerativas del aparato locomotor (articulares, periarticulares o vertebrales) y en afecciones reumáticas (Aramburu et al, 1998).
7. Baños galvánicos. También reciben el nombre de baño hidroeléctrico total de Stanger. En él, el paciente se encuentra en una bañera de material aislante (bañera galvánica). La bañera que se emplea suele estar provista de numerosos electrodos repartidos por toda la pared interna. Estos electrodos se pueden conectar entre sí de manera que la corriente atraviese los segmentos afectados o todo el cuerpo, según convenga. En todas las formas de aplicación de los baños galvánicos el agua deberá estar a una temperatura de entre 32 y 36 °C. Se puede añadir sal común al agua; de esta forma la corriente no penetra en el organismo, produciendo un efecto de electroforesis en la piel al crearse una carga eléctrica de signo contrario a la de fuera. Si, por el contrario, no disolvemos sales, la corriente pasa por las disoluciones orgánicas del paciente y provoca los efectos propios del galvanismo. Los baños galvánicos sin sal están indicados en problemas reumáticos y en algias vertebrales. Los baños galvánicos con sal están indicados en problemas circulatorios. Las sesiones pueden durar de 10 a 20 minutos y la intensidad dependerá de la tolerancia del paciente, que debe sentir una sensación de hormigueo, cosquilleo y calor soportable. Una especial indicación de estos baños galvánicos sobre manos y pies es el tratamiento de la hiperhidrosis con un éxito total (Maya y Albornoz, 2009).
8. Baños salinos. Se añade cloruro sódico (sal común) al agua hasta alcanzar concentraciones en torno a los 28-35 g/l. La temperatura puede oscilar entre los 32 y los 38 °C y la duración es de 15 a 30 minutos. Si la aplicación es a temperatura inferior a la indiferente van a tener una acción tonificante, estimulante del trofismo, favorecedora de la cicatrización y consolidación ósea. Si la temperatura es igual o superior a la indiferente tienen una acción analgésica en procesos reumáticos crónicos, útiles en secuelas postraumáticas y también en afecciones ginecológicas crónicas. Están contraindicados en insuficiencias graves o descompensadas, heridas

abiertas infectadas y en algunos procesos reumatológicos en fase aguda. Además, la sal produce un incremento de la flotabilidad del agua y por tanto facilita los movimientos realizados dentro de ella.

9. Baños sulfurados. Se prepara una solución que se acerque al agua sulfurada natural, añadiendo de 100 a 250 g de sulfuro potásico en 300 litros de agua. Estos baños activan el trofismo cutáneo, son equilibrantes del sistema inmunológico cutáneo y activan la regeneración de epitelios y mucosidades.

Técnicas con presión

Duchas

Es una técnica terapéutica que puede contemplar diferentes clasificaciones, según la temperatura (frías, calientes o de contraste), la manera de proyectar el agua (directa, cortada, circulares, en columna, abanico, lluvia, babeantes, etc.), la duración, la zona corporal abarcada pudiendo ser bien completas (en cascada y perpetuas) o bien parciales o locales (facial, pectoral, de miembros superiores o inferiores) o la presión del agua.

Duchas según la zona corporal

1. Duchas locales. Están destinadas principalmente a combatir el dolor localizado en un órgano. Este tipo de duchas son cada vez más recomendadas en el ámbito de la medicina naturista (fig. 6.7). El chorro empleado debe ser de agua tibia al principio (30-33 °C); se aumenta su temperatura hasta que llegue a caliente (38-45 °C) y con poca presión, paseándolo continuamente desde el límite inferior al superior de la zona dolorida. Esta ducha local está indicada en la artritis no febril, dolores musculares, lumbalgias, tortícolis, ciáticas y neuralgias intercostales y radiales. Entre los diferentes tipos de duchas los más destacados son:



FIGURA 6.7 Ducha lumbar.

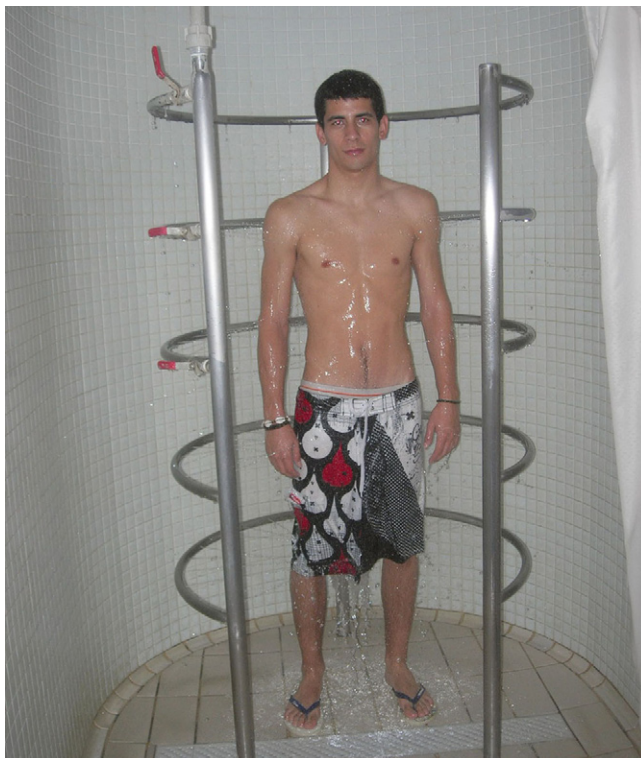
- a) Ducha abdominal. Se aplica, como su nombre indica, sobre el abdomen. Si la temperatura es fría actúa sobre las fibras musculares lisas intestinales y es efectiva en el estreñimiento por atonía. Si la temperatura es caliente, está indicada en el estreñimiento espasmódico, como calmante de los espasmos gracias a la disminución de la excitabilidad refleja (Riquelme y Moreno, 2005).
- b) Ducha hepática. Se aplica bajo forma de lluvia fina muy caliente sobre la región hepática. Resulta eficaz en la congestión y en las crisis de cólicos hepáticos.
- c) Ducha plantar. Suele realizarse antes de la ducha completa. Se aplica sobre la cara plantar de los pies de forma alternativa. Tiene un efecto descongestionante.

Duchas según la temperatura

1. Ducha fría. Se aplica con una temperatura de entre 10 y 23 °C, con una duración entre 8 y 60 segundos, en dirección de arriba abajo. Posteriormente es preciso secar al paciente con una firme fricción. Está indicada por sus efectos excitantes en pacientes convalecientes, diabéticos, asténicos y en determinados pacientes nerviosos.
2. Ducha caliente. La temperatura oscila entre 34 y 43 °C, con una duración de 3 a 5 minutos. Está indicada especialmente en algias de columna (sobre todo cervicalgias y lumbalgias) por sus efectos analgésicos y de relajación muscular.
3. Ducha tibia. De poca actividad terapéutica y ligera acción sedativa, conviene en los estados nerviosos, excitables, insomnes y en los pacientes hipertensos que no soportan el agua fría.
4. Ducha progresiva. Se inicia con el agua a una temperatura de 33-34 °C y, lentamente, se va rebajando la temperatura 5 °C cada minuto, hasta que ésta esté fría. Se utiliza como técnica para que un paciente llegue lo antes posible al agua fría, evitando el impacto brusco. Está indicada en situaciones en las que queramos conseguir una sensación tónica evitando el efecto excitante (Martínez et al, 1998).

Duchas según la presión

1. Ducha babosa. La característica principal de este tipo de ducha es que la presión de salida del agua es mínima. Con ello se persigue que el agua caiga de manera idéntica por toda la zona que debe tratarse. La duración es de 10 a 15 minutos, con una temperatura del agua entre templada y caliente. Esta ducha relaja y tranquiliza al paciente.
2. Ducha de lluvia. La presión es mayor que la anterior, así como el número de agujeros de la «alcachofa», los cuales deben ser de 1 milímetro de diámetro. El tiempo de aplicación es de 5 minutos, con una temperatura templada o caliente.
3. Ducha filiforme. Esta ducha se caracteriza por la elevada presión en la salida del agua (6-12 atmósferas), además de por mantener una temperatura muy alta (41 °C). La duración del tratamiento puede variar de unos segundos hasta 2-3 minutos como máximo, según la tolerancia del paciente. Este tipo de ducha fue ideada en los balnearios franceses para el tratamiento de lesiones dermatológicas liquenificadas, acné y pruritos localizados. Los efectos de la ducha filiforme dependen en gran parte del tiempo de aplicación, y se usan en el tratamiento de los queloides y para la relajación de contracturas musculares (Martínez et al, 1998).
4. Ducha circular. Es un tipo de ducha filiforme que proyecta agua a través de varios semicírculos metálicos, poliperforados por su lado interno. Los semicírculos se superponen a una distancia de 20 cm desde el suelo hasta una altura de 1,20-1,50 m de altura, con una abertura de 50 cm para facilitar el acceso del paciente (fig. 6.8). La temperatura de aplicación es de 37 °C y la duración de la ducha suele ser de 5 minutos. Las duchas calientes producen efectos vasculares, tróficos, musculares, analgésicos y sedantes; por el contrario, si son muy cortas tienen acciones estimulantes. Las duchas que se dan a temperatura indiferente y prolongada son sedantes, y las frías y breves son estimulantes (Martínez et al, 1998).

**FIGURA 6.8** Ducha circular.

Chorros

Los chorros son una técnica estimulante y se diferencian de la ducha en que el agua es proyectada por un único orificio, a temperatura y presión variables. Se aplican mediante una manguera o un tubo de goma de 2,5 m de longitud y 2 cm de diámetro, y a una distancia del paciente de aproximadamente 3 m, que estará de espaldas, en bipedestación y preferentemente agarrado a unas barras laterales (fig. 6.9 o vídeo 1). En la aplicación, conviene respetar las regiones genitales, abdominales y pectorales. El rango de presiones va desde una hasta 12 atmósferas; sin embargo, lo más frecuente es aplicar los chorros de entre una y 3 atmósferas; la gama de temperaturas puede ir desde muy frías (inferiores a 10 °C) hasta muy calientes (42-45 °C). A temperaturas más extremas, le corresponden menores tiempos de aplicación pero, por lo general, se aplican con agua caliente. La técnica de aplicación se inicia con una salpicadura por todo el cuerpo, para pasar a dirigir el chorro sobre pierna derecha de abajo arriba, en los glúteos en movimientos zigzagües; de ahí se sube por una zona paraespinal hasta el occipital, descendiendo por el lado izquierdo; con posterioridad se hacen círculos sobre los omóplatos. La duración completa es de 2-10 minutos. Los chorros calientes se utilizan por los efectos derivados del estímulo térmico y mecánico. Sus principales indicaciones son las afecciones reumáticas, especialmente en cervicalgias y lumbalgias, por sus efectos analgésicos y relajantes musculares (Sarriá y Hernández, 2006).

Ducha escocesa o de contraste

Es un tipo de chorro que utiliza alternativamente agua caliente y fría. Se comienza con una aplicación caliente, durante uno-3 minutos, y se sigue con la fría, aplicada durante un cuarto del tiempo de la caliente. Este proceso se repite en total tres veces. Para llevarla a cabo se utilizan dos mangueras, una para el agua caliente y otra, para el agua fría, que han de manejarse cada una con una mano, para hacer el cambio de temperatura de forma fácil y rápida.



FIGURA 6.9 Aplicación de chorro en región escapular izquierda.

La ducha escocesa finaliza siempre con agua fría. Su acción principal es un fuerte estímulo general, generado por los cambios de temperatura y el efecto de la presión. Está indicada en situaciones de estrés, insomnio y depresión nerviosa (Martínez et al, 1998).

Chorro filiforme

Se realiza a alta presión (6-13 atmósferas) y con una manguera de 0,5 mm de diámetro, a una distancia de 30 cm, durante un período de tiempo que va desde unos pocos segundos hasta 3 minutos, y a una temperatura de 42 °C. Esta técnica produce un efecto reflexoterápico (Sarriá y Hernández, 2006).

Técnicas mixtas

Ducha masaje o masaje bajo ducha

Consiste en un masaje manual general de unos 30-40 minutos de duración, aplicado por una o 2 personas, bajo una ducha de agua caliente o a temperatura indiferente y muy baja presión. El paciente permanece en decúbito prono sobre una camilla que se introduce bajo una ducha que abarca todo su cuerpo, situada a una distancia de 60-80 cm (fig. 6.10 o vídeo 2). Los efectos del masaje se ven incrementados por la relajación que produce el agua caliente. Antes de pasar a la camilla, se aconseja que el paciente se relaje y tome una ducha de 37-38 °C. Tras el tratamiento, se aconsejará un reposo de 30 a 60 minutos (Riquelme y Moreno, 2005). Existen dos modalidades diferentes, la de Aix-les-Bains y la de Vichy, denominaciones correspondientes a los balnearios franceses donde nacieron. Ambas producen una estimulación general, favorecen la circulación periférica y relajan la musculatura. En la de Vichy el paciente está tumbado debajo de la ducha, que permanece fija y abarca toda la longitud del cuerpo, a unos 60-80 cm sobre la horizontal, la temperatura del agua es la indiferente (34-36 °C) y el



FIGURA 6.10 Masaje bajo la ducha.

masaje es aplicado por dos fisioterapeutas. En la de Aix-les-Bains el agüista puede estar sentado, tumbado o de pie, y la proyección del agua es móvil, ya que la dirigen los fisioterapeutas con mangueras que llevan adosadas a sus cuerpos; la temperatura del agua también es la indiferente (Sarriá y Hernández, 2006).

Baños de burbujas

Los baños de burbujas están considerados como una variante del masaje subacuático. Pueden ser portátiles, aunque se suelen realizar en bañeras específicamente diseñadas para este tipo de baño, denominado jacuzzi, y que pueden ser individuales o colectivas (fig. 6.11). Se basan en la proyección de aire caliente a presión (600l/min), y la consiguiente formación de burbujas. Los efectos producidos por estos baños pueden ser de masaje sedante, si se toman a 37-38 °C y a baja presión, o de estimulación, si se aplican a 35-36 °C y a alta presión. Las indicaciones principales son las neuralgias, los reumatismos crónicos articulares y las paniculitis. En la actualidad están muy indicados en el ámbito deportivo (después de la competición) (Sarriá y Hernández, 2006).

Baño de remolino

En este tipo de baño, el agua se mantiene en agitación constante mediante la introducción de aire controlado con una válvula y turbina o bomba de agua. Cuanto más aire entra, más



FIGURA 6.11 Baño de burbujas.



FIGURA 6.12 Chorro manual subacuático.

turbulencias se formarán, sobre todo en la superficie. Además de los efectos térmicos del agua caliente o fría, se suman los derivados de la agitación. Estas turbulencias provocan un micro-masaje tisular, que propicia un efecto relajante, antiálgico y antiinflamatorio. Estos baños pueden ser aplicados tanto en los maniluvios y pediluvios utilizados para tratamientos parciales de los miembros como en el tanque de Hubbert, en aplicaciones generales. La temperatura de aplicación puede ser caliente (38-40 °C) como fría (20-25 °C). Los baños de remolino calientes se utilizan en el tratamiento de afecciones musculoesqueléticas, en heridas y en cicatrices, así como calentamiento previo a una sesión de cinesiterapia. Los baños fríos se usan en la fase aguda y subaguda de las lesiones del aparato locomotor (Riquelme y Moreno, 2005).

Chorro manual subacuático

Consiste en la aplicación de un chorro de agua a presión sobre determinada zona corporal con el paciente sumergido en una bañera de agua caliente (fig. 6.12). La temperatura del chorro suele ser uno o 2 °C más caliente que el agua del baño; la presión del agua es variable, entre 2 y 4 atmósferas y la distancia óptima de aplicación es de unos 10-20 cm, que debe permanecer constante durante todo el tiempo de tratamiento. El chorro se aplica mediante un movimiento continuo, de distal a proximal y procurando no incidir sobre prominencias óseas. La duración media del tratamiento es de 10 a 15 minutos. La presión proporciona un efecto de masaje profundo trabajando sobre una musculatura relajada a causa del baño y la temperatura del agua, lo que aumenta la profundidad de la acción. Está especialmente indicado para el tratamiento de afecciones periarticulares.

Otras modalidades

Baño de calor húmedo o de vapor

Este tipo de baño de calor se caracteriza por su elevada temperatura (40-46 °C) y el alto grado de humedad relativa (95-100%), producido por el vapor generado por la pulverización sobre el suelo de una columna de agua termal o por el proveniente del punto de emergencia de la propia agua mineromedicinal (fig. 6.13). La duración es de 20 o 30 minutos, y puede ser parcial o general, individual o colectivo. El más conocido es el baño turco o hamam, que es un baño de vapor caliente, sobre los 55 °C, con una humedad relativa que ronda el 100%. Los baños se suelen realizar en salas herméticas para mantener esas condiciones. Se hacen en tres salas que escalonan su temperatura, y que se comunican con un salón central donde se ubica una fuente para poder hacer abluciones frías o calientes. Una vez realizados los lavados previos, el agüista, cubierto sólo por una toalla, pasa a la primera sala, que está a 25 °C, luego a la



FIGURA 6.13 Baño de calor húmedo o de vapor.

segunda, a 40 °C y, posteriormente, a la tercera, a casi 60 °C. Se combinan calor seco y calor húmedo con frío y masajes. Este procedimiento está contraindicado en personas hipertensas o con trastornos circulatorios o cardíacos (Sarriá y Hernández, 2006).

Baño de calor seco o sauna finlandesa

Es un baño de aire caliente y seco con una humedad relativa inferior al 30% y una temperatura media muy alta (80 °C que en el suelo es de unos 40-60 °C y a la altura del techo de 90-100 °C), que se alterna con aplicaciones frías. La temperatura del baño se regula mediante un calentador, y la humedad relativa, por humidificadores automáticos o por el vertido de agua sobre piedras basálticas calientes, con lo que se produce el conocido como *golpe de calor*. Las saunas pueden ser de uso individual o colectivo, y constan de varios recintos: el específico de la sauna, habitación para aplicación de agua (afusiones, duchas o baños), sala de reposo con aire fresco y vestuario. Los pasos generales que deben seguirse son los siguientes: en primer lugar, el baño de calor, en que se debe permanecer sentado en el banco inferior durante 2-4 minutos para realizar una aclimatación progresiva, después se va ascendiendo (fig. 6.14). El tiempo óptimo de permanencia se encuentra comprendido entre los 10 y los 15 minutos, y puede llegar hasta los 25 minutos, pero debe ser el propio usuario quien determine su tiempo de estancia. Se debe abandonar la sauna cuando se note una sensación de agobio que suele producir la sudoración continuada. En ese instante es cuando se obtienen los efectos beneficiosos: si no se llega al mismo, éstos no se producen y si se sobrepasa, disminuyen. Antes de salir de la sauna, el paciente debe sentarse en el banco inferior durante 1-2 minutos para evitar la aparición de una hipotensión ortostática. Posteriormente, se debe hacer una refrigeración con afusiones, frías o tibias, en sentido centrípeto, durante 1-2 minutos. Nuevamente se repite el baño de calor y luego se hará una relajación y recuperación, durante 10-30 minutos. A continuación se aplicarán un baño o una ducha de limpieza. Puede repetirse todo el ciclo hasta un máximo de tres veces, pero cada vez con exposiciones más cortas, durante un período de tiempo total de 1-2 horas. Al finalizar conviene ingerir agua para recuperar las pérdidas debidas al sudor.



FIGURA 6.14 Baño de calor seco o sauna finlandesa.

Entre los efectos derivados de la aplicación de esta técnica hay que citar la estimulación general inespecífica, la acción desfatigante y los efectos propios de la termoterapia, como vasodilatación, aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria, diaforesis, sedación y regulación del equilibrio neurovegetativo (Sarriá y Hernández, 2006).

Pasillos de marcha

Tienen una profundidad variable que puede modificarse (entre 0,80 y 1,50 m); el suelo debe ser antideslizante y algunos están escalonados, en el sentido longitudinal, con escalones de unos 60 cm de ancho y 10 cm de alto. Pueden incorporar chorros de hidromasaje en el fondo o en las paredes; la temperatura se adaptará a los procesos que deban tratarse. Favorecen la marcha, que resulta indolora por la disminución del peso aparente y la facilitación del medio, y se indican en la reeducación de la marcha en postraumatizados o en cirugía de miembros inferiores y columna. Actualmente están muy extendidos en el tratamiento de pacientes neurológicos; el suelo se ajusta también con cierta inclinación y permite la fijación de elementos de sujeción como bancos, sillas, barras, etc. (Riquelme y Moreno, 2005).

CONTRAINDICACIONES

Las contraindicaciones, además de las generales de las técnicas balneoterápicas, son enfermedades en fase aguda, estados caquéticos, enfermedades tumorales, graves trastornos metabólicos o insuficiencias graves de tipo cardíaco, respiratorio o renal que se encuentren en fase terminal, HTA grave o descompensada y accidentes cerebrovasculares recientes, entre otras.

AGRADECIMIENTOS

Al personal e instalaciones del Balneario de Laias-Caldaria en Ourense.

Bibliografía

- Altan L, Bingol U, Aslan M, Yurtkuran M. The effect of balneotherapy on patients with ankylosing spondylitis. *Scand J Rheumatol* 2006;35(4):283-9.
- Aramburu C, Muñoz E, Igual C. *Electroterapia, termoterapia e hidroterapia* (1.ª ed.). Madrid: Síntesis; 1998.
- Ardic F, Ozgen M, Aybek H, Rota S, Cubukcu D, Gokgoz A. Effects of balneotherapy on serum IL-1, PGE2 and LTB4 levels in fibromyalgia patients. *Rheumatol Int* 2007;27(5):441-6.

- Armijo M, San Martín J. Curas balnearias y climáticas Talasoterapia y Helioterapia (1.ª ed.). Madrid: Complutense; 1994.
- Aydemir K, Tok F, Peker F, Safaz I, Taskaynatan MA, Ozgul A. The effects of balneotherapy on disease activity, functional status, pulmonary function and quality of life in patients with ankylosing spondylitis. *Acta Reumatol Port* 2010;35(5):441-6.
- Balint GP, Buchanan WW, Adam A, Ratko I, Poor L, Balint PV, et al. The effect of the thermal mineral water of Nagybárácska on patients with knee joint osteoarthritis – A double blind study. *Clin Rheumatol* 2007;26(6):890-4.
- Balogh Z, Ordogh J, Gasz A, Nemet L, Bender T. Effectiveness of balneotherapy in chronic low back pain-a randomized single-blind controlled follow-up study. *Forsch Komplementarmed Klass Naturheilkd* 2005;12(4):196-201.
- Buskila D, Abu-Shakra M, Neumann L, Odes L, Shneider E, Flusser D, et al. Balneotherapy for fibromyalgia at the Dead Sea. *Rheumatol Int* 2001;20(3):105-8.
- Cantarini L, Leo G, Giannitti C, Cevenini G, Barberini P, Fioravanti A. Therapeutic effect of spa therapy and short wave therapy in knee osteoarthritis: a randomized, single blind, controlled trial. *Rheumatol Int* 2007;27(6):523-9.
- Codish S, Dobrovinsky S, Abu Shakra M, Flusser D, Sukenik S. Spa therapy for ankylosing spondylitis at the Dead Sea. *Isr Med Assoc J* 2005;7(7):443-6.
- Cuesta AI, Guillén F. Actividad acuática terapéutica. In: Pérez-Fernández MR (ed.). *Principios de Hidroterapia y Balneoterapia*. (1.ª ed.) Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2005. p. 151-68.
- Eksioglu E, Yazar D, Bal A, Usan HD, Cakci A. Effects of Stanger bath therapy on fibromyalgia. *Clin Rheumatol* 2007;26(5):691-4.
- Eversden L, Maggs F, Nightingale P, Jobanputra P. A pragmatic randomised controlled trial of hydrotherapy and land exercises on overall well being and quality of life in rheumatoid arthritis. *BMC Musculoskelet Disord* 2007;1(8):23.
- Forestier R, Desfour H, Tessier JM, Francon A, Foote AM, Genty C, et al. Spa therapy in the treatment of knee osteoarthritis: a large randomised multicentre trial. *Ann Rheum Dis* 2010;69(4):660-5.
- Francon A, Forestier R. Spa therapy in rheumatology. Indications based on the clinical guidelines of the French National Authority for health and the European League Against Rheumatism, and the results of 19 randomized clinical trials. *Bull Acad Natl Med* 2009;193(6):1345-56. discussion: 1356-8.
- Fransen M, Nairn L, Winstanley J, Lam P, Edmonds J. Physical activity for osteoarthritis management: a randomized controlled clinical trial evaluating hydrotherapy or Tai Chi classes. *Arthritis Rheum* 2007;57(3):407-14.
- Giménez RM. Talasoterapia. In: Pérez-Fernández MR (ed.). *Principios de Hidroterapia y Balneoterapia*. (1.ª ed.) Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2005. p. 201-19.
- Hartmann BR, Bassenge E, Hartmann M. Effects of serial percutaneous application of carbon dioxide in intermittent claudication: results of a controlled trial. *Angiology* 1997;48(11):957-63.
- Karagulle M, Karagulle MZ, Karagulle O, Donmez A, Turan M. A 10-day course of SPA therapy is beneficial for people with severe knee osteoarthritis. A 24-week randomised, controlled pilot study. *Clin Rheumatol* 2007;26(12):2063-71.
- Kulich A, Bender T, Nemeth A, Szekeres L. Effect of thermal water and adjunctive electrotherapy on chronic low back pain: a double-blind, randomized, follow-up study. *J Rehabil Med* 2009;41(1):73-9.
- Lopalco, Proia M, Fraioli AR, Serio A, Cammarella I, Petracchia L, et al. Therapeutic effect of the association between pulmonary ventilation and aerosol-inhalation with sulphureous mineral water in the chronic bronchopneumopathies. *Clin Ter* 2004;155(4):115-20.
- Llor JL. Evidencia científica de la hidroterapia, balneoterapia, termoterapia, crioterapia y talasoterapia. *Medicina Naturista* 2008;2(2):76-88.
- Mancini Jr S, Piccinetti A, Nappi G, Mancini S, Caniato A, Coccheri S. Clinical, functional and quality of life changes after balneokinesis with sulphurous water in patients with varicose veins. *Vasa* 2003;32(1):26-30.
- Martínez M, Pastor JM, Sendra F. *Manual de medicina física* (1.ª ed.). Madrid: Harcourt Brace; 1998.
- Maya J, Alborno M. *Electroterapia*. Sevilla: Secretariado de Recursos Audiovisuales y Nuevas Tecnologías. Universidad de Sevilla 2009.
- Neumann L, Sukenik S, Bolotin A, Abu-Shakra M, Amir M, Flusser D, et al. The effect of balneotherapy at the Dead Sea on the quality of life of patients with fibromyalgia syndrome. *Clin Rheumatol* 2001;20(1):15-9.
- Ozkurt S, Donmez A, Zeki Karagulle M, Uzunoglu E, Turan M, Erdogan N. Balneotherapy in fibromyalgia: a single blind randomized controlled clinical study. *Rheumatol Int* 2011;2.
- Pérez-Fernández MR. Historia del agua como agente terapéutico. In: Pérez-Fernández MR (ed.). *Principios de Hidroterapia y Balneoterapia*. (1.ª ed.) Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2005. p. 3-14.
- Pittler MH, Karagulle MZ, Karagulle M, Ernst E. Spa therapy and balneotherapy for treating low back pain: meta-analysis of randomized trials. *Rheumatology (Oxford)* 2006;45(7):880-4.
- Riquelme A, Moreno C. Técnicas de hidroterapia. In: Pérez-Fernández MR (ed.). *Principios de Hidroterapia y Balneoterapia*. (1.ª ed.) Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2005. p. 79-98.
- San José JC. *Hidrología médica: fundamentos y aplicación práctica*. Jano 2008;28-35.
- Sanriá A, Hernández A. Informe de evaluación de tecnologías sanitarias n.º 50. Técnicas y tecnologías en hidrología médica e hidroterapia. Madrid 2006;.
- Sukenik S, Giryas H, Halevy S, Neumann L, Flusser D, Buskila D. Treatment of psoriatic arthritis at the Dead Sea. *J Rheumatol* 1994;21(7):1305-9.
- Sukenik S, Mayo A, Neumann L, Flusser D, Kleiner-Baumgarten A, Buskila D. Dead Sea bath salts for osteoarthritis of the knee. *Harefuah* 1995;129:3-4: 100-3,158-159.
- Sukenik S, Abu-Shakra M, Kudish S, Flusser D. Dead Sea and Tiberias as health resort areas for patients suffering from different types of arthritis. *Harefuah* 2006;145(2). 117-22,165.

- Torres S. El agua. Principios físico-químicos. In: Pérez-Fernández MR (ed.). Principios de Hidroterapia y Balneoterapia. (1.ª ed.) Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2005. p. 15-33.
- Torres S, Angosto F. Hidrocinesiterapia. En: Pérez-Fernández MR (ed.). Principios de Hidroterapia y Balneoterapia. (1.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2005. p. 99-125.
- Verhagen AP, Bierma-Zeinstra SM, Cardoso JR, De Bie RA, Boers M, De Vet HC. Balneotherapy for rheumatoid arthritis. *Cochrane Database Syst Rev* 2003;(4):CD000518.
- Verhagen A, Bierma-Zeinstra S, Lambeck J, Cardoso JR, De Bie R, Boers M, et al. Balneotherapy for osteoarthritis. *J Rheumatol* 2008;35(6):1118-23.
- Yurtkuran M, Ay A, Karakoc Y. Improvement of the clinical outcome in Ankylosing spondylitis by balneotherapy. *Joint Bone Spine* 2005;72(4):303-8.
- Zijlstra TR, Van de Laar MA, Bernelot Moens HJ, Taal E, Zakraoui L, Rasker JJ. Spa treatment for primary fibromyalgia syndrome: a combination of thalassotherapy, exercise and patient education improves symptoms and quality of life. *Rheumatology (Oxford)* 2005;44(4):539-46.
- Zijlstra TR, Braakman-Jansen LM, Taal E, Rasker JJ, Van de Laar MA. Cost-effectiveness of Spa treatment for fibromyalgia: general health improvement is not for free. *Rheumatology (Oxford)* 2007;46(9):1454-9.

Vibroterapia

**Lourdes M.^a Fernández Segúin*, Ángel Rufino Yáñez Álvarez*,
Diego Márquez Pérez*****

*Profesor del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

***Fisioterapeuta en ejercicio libre y experto en plataformas vibratorias

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Introducción 139

Vibraciones torácicas 140

Efectos fisiológicos 140

Metodología de aplicación 141

Flúter 142

Vibraciones de cuerpo completo: plataformas vibratorias 143

Fundamentos físicos de las vibraciones de
cuerpo completo: hipergravedad 145

Efectos fisiológicos de las vibraciones de
cuerpo completo 145

Efectos sobre la fuerza y la potencia
muscular 146

Efectos sobre la flexibilidad 147

Efectos sobre el sistema endocrino 148

Efectos sobre el sistema

neuromuscular 148

Efectos sobre el sistema óseo 149

Efectos sobre el sistema
cardiovascular 150

Efectos sobre el equilibrio 150

Efectos sobre la composición
corporal 150

Efectos sobre la recuperación y el dolor
muscular postejercicio 151

Efectos sobre pacientes con alteraciones
neurológicas centrales 151

Efectos sobre el envejecimiento
y la tercera edad 152

Tipos de plataformas vibratorias 152

Metodología de aplicación 152

Indicaciones 155

Efectos adversos y

contraindicaciones 155

Contraindicaciones absolutas 155

Contraindicaciones relativas 156

139

INTRODUCCIÓN

La acción de las vibraciones sobre el cuerpo humano ha sido motivo de estudio en numerosas investigaciones y por parte de diferentes autores. Los estudios se generaron principalmente debido a los efectos perjudiciales de las vibraciones mecánicas en el entorno laboral. Aparte del ámbito de la medicina del trabajo, relativo al daño que causan las vibraciones sobre el organismo, las investigaciones se han ido extendiendo a aspectos sanitarios relacionados con las alteraciones respiratorias, el deporte, las afecciones neurológicas y, en general, a los efectos fisiológicos beneficiosos relacionados con los sistemas esquelético, muscular y nervioso.

La vibración mecánica también se denomina oscilación y podemos conceptualizarla como una inversión del sentido de un movimiento, repetida periódicamente. Toda vibración se asocia con una onda mecánica.

En el presente capítulo nos centraremos en los procedimientos de fisioterapia que emplean las vibraciones locales y generales con fines terapéuticos. En primer lugar, abordaremos las aplicaciones de vibroterapia en relación con las alteraciones respiratorias o vibraciones torácicas. Finalmente, describiremos las vibraciones de cuerpo completo, como conjunto de procedimientos de fisioterapia en los que se emplean las vibraciones para lograr un beneficio terapéutico determinado. Este último apartado es de una máxima actualidad y por ello realizaremos un examen exhaustivo de los principios y de las pautas de tratamiento que deben tenerse en cuenta, así como de los diferentes equipos existentes en el mercado y de sus características técnicas.

VIBRACIONES TORÁCICAS

Las vibraciones torácicas son un conjunto de procedimientos de fisioterapia respiratoria en los que, a través de un masaje oscilatorio aplicado sobre la parrilla costal, se pretende fluidificar las secreciones bronquiales para, como fin último, mantener la vía respiratoria sin obstáculos al paso del aire.

La fisioterapia respiratoria abarca un conjunto de procedimientos basados en la prevención y el tratamiento de todas aquellas alteraciones que afectan al sistema toracopulmonar. Estos procedimientos engloban una serie de técnicas activas y pasivas entre cuyos objetivos se encuentra la depuración de las vías aéreas, el mantenimiento de su permeabilidad al paso del aire y el fortalecimiento de la musculatura inspiratoria y espiratoria; es decir, la conservación del aparato respiratorio en perfecto estado físico para que la respiración se realice con éxito. Las técnicas activas son todas aquellas en las cuales el sujeto colabora en su realización. En las técnicas pasivas, sin embargo, el sujeto no realiza ninguna acción, es el fisioterapeuta quien ejecuta la técnica. Entre estas últimas se encuentra las vibraciones torácicas o el masaje de vibración costal, en las que el fisioterapeuta, mediante un masaje vibratorio aplicado a la parrilla costal, ejerce una fuerza oscilatoria para que se transmita a las secreciones o a la mucosidad que se halla retenida y adherida en el interior del aparato traqueobronquial.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS

La vibración realizada sobre la parrilla costal puede disminuir la adherencia de las secreciones a las paredes bronquiales y aumentar el flujo espiratorio, así como mover las secreciones hacia la orofaringe (King et al, 1983; Webber et al, 1998). El aumento de la frecuencia vibratoria incrementará la frecuencia en el movimiento ciliar, y se producirá una disminución de la viscosidad del moco, efecto que favorece su transporte y su posterior eliminación. En consecuencia, se estimulará la tos espontánea y se incrementarán el volumen corriente y la ventilación en general (Kim et al, 1987).

McCarren et al (2006a) observaron que, tras el masaje de vibración torácica, el flujo espiratorio máximo de sujetos sanos se incrementaba en un 50%. En este estudio se determinó que el principal factor que provocaba la exhalación del aire era la fuerza de retracción pulmonar y que el efecto de la compresión contribuía en un 15% al éxito de la técnica y el de la vibración en un 14%. Sin embargo, aceptaron que estos resultados están condicionados a la distensibilidad de la pared torácica, a la resistencia de la vía aérea y a la eficaz contracción de la musculatura espiratoria. Pero como nos proponen Kim et al (1987), para que un procedimiento de fisioterapia respiratoria produzca un efecto que favorezca la eliminación de secreciones pulmonares debe existir una relación mayor de 1,1 entre el flujo espiratorio y el inspiratorio. Por ello, en el estudio de McCarren et al (2006a), dado que se partió de una capacidad inspiratoria máxima, esta relación fue muy débil, por lo que no se produjo ningún efecto sobre las secreciones bronquiales.

Las vibraciones torácicas no suelen utilizarse como técnicas aisladas sino combinadas con otros tratamientos de fisioterapia respiratoria. Este aspecto provoca que en el análisis de las evidencias científicas de estos procedimientos de vibroterapia exista cierta controversia en cuanto a su eficacia. Una revisión sistemática realizada en diferentes ensayos clínicos aleatorios en los que se realizó fisioterapia respiratoria a niños con bronquiolitis, consistente en vibraciones torácicas, percusión y posiciones de drenaje, concluyó que estos procedimientos no resultaban eficaces para disminuir la duración hospitalaria ni los requerimientos de oxígeno (Perrota et al, 2008). Por otro lado, un estudio realizado en Australia en el que se entrevistó a fisioterapeutas que trabajaban en hospitales públicos, manifestaba que la técnica de vibración era utilizada con éxito por estos profesionales, sobre todo en pacientes con fibrosis quística, bronquiectasias y trastornos respiratorios caracterizados por la acumulación de secreciones y su uso se hacía relevante en las unidades de cuidados intensivos con pacientes intubados y con respiración asistida (McCarren et al, 2003). El empleo de estos procedimientos de vibroterapia no era exclusivo, sino asociado con otras técnicas como el drenaje postural y el masaje de percusión.

En el estudio piloto de Doering et al (1999) se determinó la influencia del masaje de vibración en la función pulmonar en una población de individuos que habían sido sometidos a cirugía de tórax y que estaban recibiendo ventilación mecánica. En estos ensayos se comprobó que con el masaje de vibración se conseguía mejorar el mecanismo y la ventilación pulmonar, disminuyendo el desequilibrio ventilación-perfusión, al tiempo que se producía una mejora en la saturación de oxígeno.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

Los procedimientos de vibroterapia torácica pueden ser manuales o mediante aparatajes. Así, las vibraciones originadas por la mano del fisioterapeuta que se aplican sobre la parrilla costal son uno de los procedimientos más empleados en fisioterapia respiratoria. Como regla general, la aplicación de las vibraciones torácicas debe ser perpendicular al área pulmonar que pretendemos drenar, realizando una contracción isométrica de los músculos del antebrazo del fisioterapeuta, en caso de realizarse de forma manual (Antonello y Delplanque, 2002). Cuanto más aire exista en el interior de los pulmones peor se propagarán las ondas generadas por el masaje de vibración; por ello la técnica se realiza en fase espiratoria, momento en el que la densidad parenquimatosa aumenta y su práctica resultará más efectiva (Arcas et al, 2004). La técnica de vibroterapia debe comenzar al inicio de la espiración, aplicando cierta compresión a la pared torácica con un movimiento oscilatorio y continuar hasta el final de aquella (Gregson et al, 2007). Esta maniobra se emplea junto con la tos o con la espiración forzada o «huff» del paciente porque de esta forma se aumenta el flujo espiratorio y se impulsan las secreciones a lo largo de las vías aéreas para que, finalmente, sean eliminadas por medio de la aspiración o de la tos (Van der Schans et al, 1999).

En cuanto a la aplicación con un aparato vibratorio, es necesario ajustar bien una serie de parámetros y conocer sus características técnicas para utilizarlo correctamente y evitar posibles efectos adversos.

A continuación pasamos a describir una serie de aspectos importantes de los procedimientos de vibración torácica que redundan en su eficacia y en la prevención de complicaciones derivadas de una mala praxis:

1. Frecuencia oscilatoria. No existe una uniformidad de criterios en cuanto a la frecuencia oscilatoria del masaje de vibración. Algunos autores determinan que la frecuencia vibratoria puede oscilar entre 3 y 17 Hz (McCarren et al, 2006a); en cambio, otros afirman que entre 8 y 11 Hz (Doering et al, 1999). Finalmente, en estudios recientes se emplea una frecuencia fija de 8 vibraciones por segundo (Shannonet al, 2010). Además, King et al (1983) determinan que, aplicando una oscilación comprendida entre 3 y 17 Hz, se consigue una mejora de las cualidades reológicas del moco bronquial, por lo que se facilita su transporte.

Uno de los objetivos que se persigue con la aplicación de las vibraciones torácicas es entrar en resonancia con las agitaciones ciliares para así mejorar el transporte mucociliar y permitir la movilización y eliminación de las secreciones bronquiales. La frecuencia normal de batido ciliar es distinta según las células ciliadas estén localizadas en las vías aéreas más proximales o más periféricas, variando de $10,3 \pm 1$ Hz a $14 \pm 1,5$ Hz (Rutland et al, 1982). Por esta razón, las frecuencias de vibración comprendidas entre estos parámetros, o incluso mayores, serían óptimas en la realización de la técnica porque simularían o aumentarían el barrido normal de los cilios. Por el contrario, no tiene sentido emplear frecuencias de vibración por debajo de éstas.

2. Presión aplicada. La presión aplicada sobre la parrilla costal del sujeto tampoco es una variable que esté claramente definida científicamente. En un estudio en el que 30 fisioterapeutas realizaban masajes de vibración a un modelo anatómico observamos que la fuerza compresiva variaba de unos a otros desde 27 a 172 N (Shannon et al, 2010). Sin embargo, en otro estudio realizado en mujeres adultas sanas se empleó una fuerza de $74,4 \pm 47,1$ N para provocar cambios en el volumen y flujo espiratorio (McCarren et al, 2006a). Otros estudios emplean una fuerza entre 75 y 258 N en individuos adultos (Shannon et al, 2009) o simplemente presiones tolerables por el paciente y que no resulten desagradables (McCarren y Alison, 2006). En conclusión, y en relación con los estudios anteriormente mencionados, podemos deducir que la fuerza aplicada sobre el tórax del paciente al realizar esta maniobra respiratoria se modificará en función de las necesidades individuales de cada paciente y de la experiencia propia de cada fisioterapeuta.
3. Tiempo de realización. Tampoco está establecido el tiempo de aplicación de la técnica para que la vibración torácica resulte claramente efectiva. Existen investigaciones realizadas en sujetos adultos en las que la aplicación es sólo de tres (Pattenshetty y Gaude, 2010), cuatro (McCarren et al, 2006b) o seis (Wong et al, 2003) repeticiones en el tórax, haciéndolas coincidir en los momentos espiratorios. Otros investigadores usan un tiempo total de realización de la técnica como, por ejemplo, 15 minutos (Doering et al, 1999) o menos tiempo cuando la técnica se aplica en neonatos (Al-Alaiyan et al, 1996; Lanza et al, 2010), y la duración de la vibración puede oscilar entre uno y 5 minutos.
4. Posición del paciente. En relación con la posición en la que debe colocarse el paciente para que se realice el masaje de vibración, muchas investigaciones asocian la vibración a las diferentes posiciones de drenaje pulmonar clásicamente detalladas en la literatura científica (Antonello y Delplanque, 2002). Sin embargo, está demostrado que adoptar posiciones de drenaje no logra una mayor efectividad en la realización de otras maniobras de fisioterapia respiratoria (Hofmeyr et al, 1986). Además, la posición de Trendelenburg no se aconseja en pacientes con problemas respiratorios (McIlwaine, 2007). Por ello, el decúbito lateral sobre el lado sano (siempre que la afectación sea unilateral) dejando el pulmón más tendente a la acumulación de secreciones arriba puede resultar una posición recomendable, pues al no estar restringida la expansión del tórax por el plano de la camilla o cama, la inspiración inicial que el paciente debe realizar no verá mermada su capacidad por un elemento ajeno al propio proceso patológico. Así, por tanto, el flujo espiratorio final generado será mayor.

Flúter

El flúter es un dispositivo usado en fisioterapia respiratoria que ofrece la ventaja de poderse utilizar con niños pequeños. Su forma se asemeja a una pipa en cuyo interior se sitúa una bola de tal manera que cuando el paciente espira se produce una oscilación del flujo aéreo. Estas oscilaciones y los cambios de presión derivados de ellas se transmiten al interior de las vías aéreas y se cree que son las responsables de provocar una mejora en las cualidades de las secreciones, de tal modo que la mucosidad retenida en las vías aéreas se hace más líquida (App et al, 1998), al tiempo que aumenta el diámetro de los bronquiolos periféricos (Brooks et al, 2002).

La efectividad del flúter se debe a la génesis de cuatro efectos principales: la presión positiva espiratoria originada al soplar por el dispositivo, la espiración forzada o técnica de «huff»

realizada por el sujeto, las oscilaciones de flujo aéreo que origina el aparato transmitiendo una fuerza de vibración a las vías aéreas y la modificación de la viscoelasticidad del moco bronquial, lo que facilita su movilización (Alves et al, 2008). El empleo del flúter aumenta la expectoración diaria de los pacientes y disminuye los síntomas relacionados con la acumulación de secreciones en el árbol traqueobronquial (Nakamura y Kawakami, 1996).

La técnica de espiración forzada o «huff», realizada a bajo flujo espiratorio y con poco volumen pulmonar, previene la compresión excesiva de la vía aérea y moviliza el moco localizado en las vías respiratorias más periféricas. Sin embargo, cuando el flujo y el volumen son elevados, el efecto se produce en las vías respiratorias más proximales (Wagener y Hadley, 2003; Prior, 1999). Este principio también se debe aplicar a la técnica realizada con el flúter. Las frecuencias oscilatorias generadas en el flúter no sólo dependen del flujo de aire que el paciente infiera en el aparato sino también del ángulo con el que sea usado el instrumento (App et al, 1998). Existen estudios que determinan cuál es la angulación ideal y el flujo óptimo para la correcta utilización del dispositivo en individuos con la capacidad pulmonar disminuida (Brooks et al, 2002; Valente et al, 2004; Alves et al, 2008). Lo ideal para estos sujetos es generar una frecuencia óptima de vibración comprendida entre 11 y 15 Hz para movilizar el moco bronquial con el menor flujo espiratorio (King et al, 1983). Así, existen evidencias científicas que corroboran que, cuando el flúter se coloca entre 0 y 30-40° con respecto a la horizontal, este propósito se consigue al tiempo que se promueve un mayor tiempo espiratorio que con otras angulaciones (Brooks et al, 2002; Alves et al, 2008).

VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO: PLATAFORMAS VIBRATORIAS

Los primeros estudios sobre los efectos de las vibraciones sobre el cuerpo humano se iniciaron alrededor del año 1950. Estas investigaciones diferenciaban entre la afectación total del cuerpo o el daño en brazo-mano. Años más tarde, y basándose en la elaboración de estudios sobre los efectos perjudiciales de las vibraciones, las organizaciones profesionales toman interés y legislan sobre ellas. Por ello al hablar de vibración tenemos connotaciones negativas en el ámbito de la medicina laboral (Seidel y Griffin, 1998).

Por otro lado, el creciente interés por modos alternativos de tratamiento y el cambio de perspectiva llevado a cabo en la década de 1980, tras la evaluación de los efectos nocivos de las vibraciones, se conciben las vibraciones como medida terapéutica. Esto incluye, entre otros, los primeros estudios en animales (Ariizumi y Okada, 1983, 1985). Existen evidencias científicas que avalan un aumento de la densidad ósea, de hasta un 30%, en animales tras la aplicación de las vibraciones de más de 30 minutos (Rubin et al, 2001). Así, actualmente, la vibroterapia se relaciona con efectos positivos en el área del ejercicio físico y de la recuperación funcional (Marín y Jiménez, 2007). De ahí que cada vez se estén generando más investigaciones en este ámbito de la salud y en el deporte, incluyendo estudios en seres humanos, como se ejemplifica en numerosas publicaciones que comentaremos posteriormente.

La aplicación y utilización de estímulos vibratorios con un fin terapéutico y de mejora en las cualidades físicas es conocida con varios nombres, entre las que destaca la de *Vibraciones de Cuerpo Completo* (VCC), proveniente del término inglés: Whole Body Vibration (WBV). También existen otras como estimulación neuromuscular mecánica (ENM/NEMES) y estimulación muscular biomecánica (EMB/BMS). La diferente denominación proviene mayoritariamente del modo y del área de aplicación. Por lo tanto, nosotros proponemos que al emplearse el estímulo vibratorio en todo el cuerpo es más apropiado emplear el término de VCC a los procedimientos de aplicación de vibraciones por medio de plataformas vibratorias.

Las aplicaciones e indicaciones de las VCC son muy diversas y variadas, y se emplean en el ámbito del deporte, la estética y la salud. En la actualidad, existe un bombardeo constante de publicidad que nos habla de estos aparatos y de que logran resultados espectaculares. Tal ha sido la expansión de este implemento que estimamos será considerado, a corto plazo, un aparato

indispensable en cualquier centro deportivo y de recuperación funcional y, gracias a las plataformas no profesionales, también será un equipo de entrenamiento personal de uso doméstico.

En este capítulo esclareceremos las funciones y efectos que producen las plataformas vibratorias, así como los tipos de vibraciones que generan y la metodología de aplicación para la confección de un programa de trabajo específico. Todo lo expuesto está bajo una óptica científica y en aras a la necesidad de conocimiento y familiarización con las VCC, a fin de que el fisioterapeuta obtenga el mayor rendimiento de esta herramienta mecánica y cubra las necesidades y/o expectativas del paciente/cliente, aplicándola en exclusiva o combinada con otras terapias.

Comenzaremos con un repaso histórico de los inicios del entrenamiento vibratorio con plataformas vibratorias. Así, los efectos curativos de los estímulos vibratorios se conocen desde el siglo XIX, a través de Granville en 1881 (Issurin, 1994). En 1895, Kellogg desarrolló una silla que producía vibraciones en los pies para generar analgesia. Posteriormente, en 1912, Arnold Snow escribió un tratado sobre los usos terapéuticos de las vibraciones. No obstante, fue el Dr. Nazarov, junto con sus colaboradores, quienes comenzaron su aplicación e investigación en el ámbito deportivo en la década de 1940, como podemos ver en la figura 7.1 (Marín y Jiménez, 2007; Gonzalo, 2008).

El Dr. Nazarov, antiguo gimnasta y pionero del sistema, decidió presentar su invento en Alemania a principios de la década de 1970. Es a partir de este momento cuando se empezaron a desarrollar multitud de estudios científicos para corroborar los sorprendentes resultados. Así, el entrenamiento con vibraciones, como lo conceptuamos en la actualidad, se inició durante la década de 1980, con un grupo de científicos rusos que desarrollaron un programa para entrenar a los astronautas, con dos objetivos específicos: contrarrestar las degeneraciones osteomusculares provocadas por las estancias en ambientes de baja gravedad y preparar físicamente a deportistas de alto rendimiento, como gimnastas (Gonzalo, 2008).

Entre los procedimientos de vibroterapia podemos diferenciar aquellos que realizan ejercicios con estimulación vibratoria sobreimpuesta, más empleados en fisioterapia-rehabilitación y reeducación funcional (fig. 7.2). En esta modalidad encontramos en el mercado algunos aparatos diseñados casi exclusivamente para el tratamiento de las extremidades superiores, que posibilitan variar la carga de trabajo y la realización de diferentes ejercicios. Por otro lado, se encuentran los procedimientos que efectúan las tareas motrices bajo VCC (Cardinale y Lim, 2003^a; Issurin, 2005). Existen diferentes tipos de plataformas para el trabajo de VCC. Ejemplo de ello son los equipos de vibraciones expresamente diseñados para trabajar con pacientes neurológicos, que no pueden mantener la bipedestación y que posibilitan aplicar distintos grados de carga, similar al plano inclinado clásico.

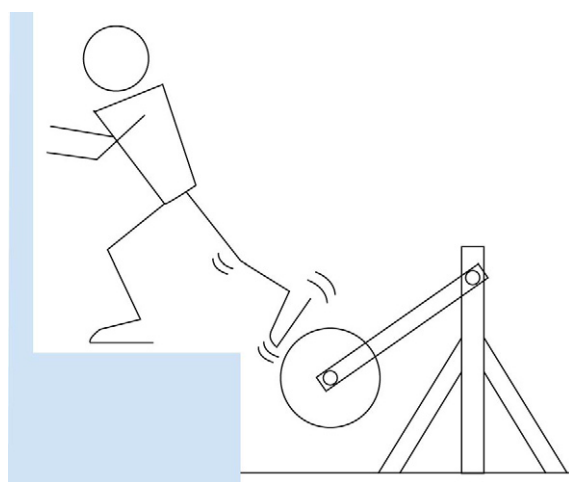


FIGURA 7.1 Rodillo para generar vibraciones aplicadas al entrenamiento deportivo. Entrenamiento con VCC usando el método Nazarov. Extraído de Kunemeyer y Schmidtbleicher, 1997.

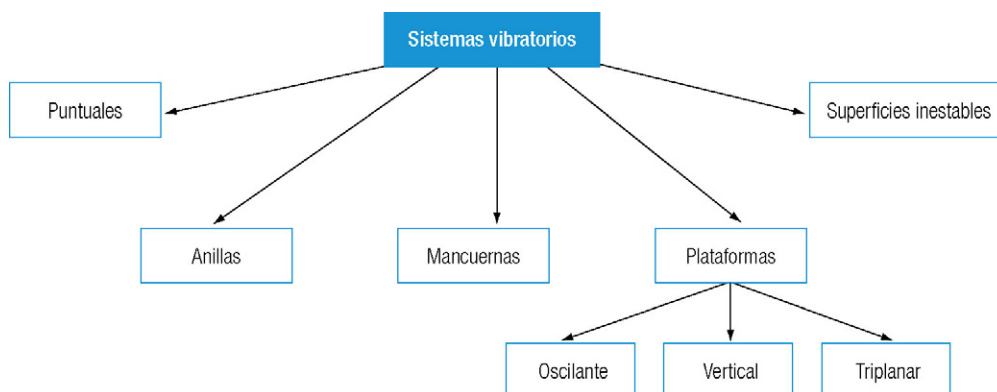


FIGURA 7.2 Diferentes elementos que desarrollan diversos tipos de vibración sobreimpuesta.

FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO: HIPERGRAVEDAD

Los viajes espaciales han demostrado que el organismo humano, expuesto durante un largo período de tiempo a la ausencia de la fuerza de la gravedad, sufre profundas modificaciones en músculos y huesos. Este hallazgo propugna que, si se induce un descenso de la gravedad, denominado microgravedad, se producirá una disminución, tanto en la masa como en la fuerza muscular. Por el contrario, si se aumenta la carga gravitacional, o hipergravedad, se aumentarán la masa y la fuerza muscular (Bosco et al, 2001).

Esta última situación de hipergravedad se usa habitualmente en el entrenamiento físico con el fin de aumentar la fuerza y la potencia muscular. Se ha demostrado que este tipo de ejercicios producen respuestas adaptativas específicas en los músculos esqueléticos, porque éstos son un tejido especializado que modifica su capacidad funcional global en respuesta a estímulos diversos. Además, las respuestas adaptativas conllevan cambios neurales y morfológicos, siendo los neurales los primeros en producirse y originando un aumento de fuerza (Bosco et al, 1999a; Da Silva et al, 2006a).

La situación hipergravitatoria producida por los procedimientos de vibroterapia se debe a las altas aceleraciones provocadas por la aceleración impuesta por la vibración. Se ha descrito que la carga gravitacional en VCC puede llegar hasta los 14G; es decir, catorce veces la gravedad terrestre (Issurin et al, 1994; Bosco et al. 1998, 1999b, 2000, 2001; Issurin y Tenenbaun, 1999; Torvinen et al, 2002a; Cardinale y Bosco 2003). En la tabla 7.1 podemos observar las aceleraciones y el número de contracciones producidas a distintas frecuencias sobre una plataforma vibratoria (Padullés, 2001).

EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO

Actualmente, los mecanismos neurofisiológicos asociados a las mejoras en fuerza, flexibilidad, etc., derivados del empleo de la VCC, no están del todo claros. Existen evidencias científicas que constatan que el estímulo vibratorio ocasiona un aumento de los potenciales motores en el músculo estimulado (efecto facilitador), y un descenso de esos mismos potenciales en el músculo antagonista (efecto inhibidor). También se ha observado un aumento de la actividad electromiográfica, un incremento de la máxima contracción voluntaria isométrica y concéntrica, y un aumento de la potencia muscular (Delecluse et al, 2003; Ronnestad, 2004). En definitiva, parece originarse una amortiguación a través de los componentes tendinosos, musculares y óseos. Mediante una «estrategia de afinamiento» en la actividad muscular, dicha amortiguación se produce para reducir las vibraciones aportadas por las plataformas vibratorias. Esto origina unos cambios rápidos y cortos en la longitud del complejo miotendinoso, lo

TABLA 7.1 Aceleraciones y número de contracciones producidas a distintas frecuencias sobre una plataforma de vibraciones (Padullés, 2001)

FREC. (Hz)	AMPL. (MM)	ACEL. (m/s ²)	ACEL. (G)	N.º Contracciones			
				15 SEG	30 SEG	45 SEG	1 MIN
10	4	7,89	0,80	150	300	450	600
15	4	17,75	1,81	225	450	675	900
20	4	31,55	3,22	300	600	900	1.200
25	4	49,30	5,03	375	750	1.125	1.500
30	4	70,99	7,24	450	900	1.350	1.800
35	4	96,62	9,86	525	1.050	1.575	2.100
40	4	126,20	12,88	600	1.200	1.800	2.400
45	4	159,73	16,30	675	1.350	2.025	2.700
50	4	197,19	20,12	750	1.500	2.250	3.000

que provoca una actividad refleja muscular que se manifiesta en un incremento de la actividad mioeléctrica, parecida a las contracciones voluntarias, pero de tipo sincrónica, denominada *reflejo tónico vibratorio* (Cardinale y Bosco, 2003).

El reflejo tónico vibratorio puede definirse como un reflejo parecido al miotático y que se activa al someter a continuas vibraciones al huso neuromuscular, que cambian su longitud. El huso neuromuscular reacciona provocando una gran cantidad de contracciones como mecanismo de defensa o protección, e inhibiendo la musculatura antagonista.

A continuación describiremos las principales evidencias científicas en relación con los efectos fisiológicos derivados de las aplicaciones de los procedimientos de VCC.

Efectos sobre la fuerza y la potencia muscular

La fuerza es la capacidad física objeto del mayor número de estudios realizados con la aplicación de las VCC y sus efectos positivos se han evidenciado en numerosas investigaciones. Así, [Bosco et al \(1999b\)](#) confirmaron un aumento de fuerza del 200%, medido a través de electromiograma (EMG), respecto al estado de reposo. Además, se observa un incremento de la fuerza máxima isotónica de flexión de brazos en un 49,8% con vibraciones, frente a un 16% por medio del entrenamiento convencional; en un período de 3 semanas, con tres sesiones por semana ([Issurin et al, 1994](#)). [Torvinen et al \(2002a\)](#) concluyeron que se produce una ampliación de la fuerza isométrica del 3,5% de la fuerza máxima de extensión de piernas de carácter isométrico, en 2 meses. [Delecluse et al \(2003\)](#) registran que después de un tratamiento vibratorio realizado respetando los siguientes parámetros: intensidad y duración de las sesiones progresivamente (al principio 3 minutos hasta llegar a 20 minutos al final del período de entrenamiento), frecuencia entre 35 y 40 Hz, con tres sesiones de entrenamientos por semana y una duración total de 12 semanas, se produce un aumento significativo tanto de la fuerza isométrica como de la dinámica de las extremidades inferiores igual al 16,6 y al 9,0%, respectivamente. [Poston et al \(2007\)](#) obtienen resultados similares en la producción de potencia muscular, pero en los miembros superiores. Incluso [Runge et al \(2000\)](#) refieren un aumento del 18% de la potencia de las extremidades inferiores en una población anciana, investigación que abordaremos con más detalle posteriormente. Otros autores, como [Cardinale y Lim \(2003a\)](#), proponen una mejora de la capacidad de salto vertical. Por ejemplo, de un 8,5% después de 4 meses de entrenamiento con VCC, realizado sobre un grupo de adultos no atletas ([Torvinen et al, 2002b](#)). [Bosco et al \(1998\)](#) refieren que un entrenamiento de 10 días de duración constituido por la administración de vibraciones sinusoidales de una frecuencia de 26 Hz, en razón de cinco series diarias de 90 minutos de duración cada una, causan un significativo incremento de la producción de potencia mecánica durante la ejercitación de saltos continuos

de 5 segundos de duración. El aumento de la fuerza/velocidad y la potencia/velocidad de la extensión de piernas se ve incrementada en un 15% (Bosco et al, 1998). Parámetros relacionados con la velocidad en carreras de corta distancia, como son los tests de resistencia a la fuerza explosiva y la amplitud de zancada, también se ven mejorados (Paradisis y Zacharogiannis, 2007). La fundamentación del incremento de fuerza o de potencia muscular mediante VCC es consecuencia de una selectividad de reclutamiento debida al hecho de que el reflejo tónico vibrátil se transmite gracias a la activación de las fibras aferentes, que son responsables, a través de las neuronas motoras, principalmente de la activación de las fibras musculares de tipo II (Hagbarth, 1967). Así, durante el ejercicio físico con VCC, el cuerpo sufre unas importantísimas estimulaciones de aceleración, por ejemplo: a una frecuencia de 30 Hz con una amplitud de oscilación de 5 mm, se está sometido a una aceleración igual a 18G, o 18 veces la aceleración de gravedad (Rittweger et al, 2001), mientras que en una ejercitación clásica de pliometría como es el «drop jump» (salto precedido de una caída hacia abajo), la aceleración desarrollada resulta igual a sólo 5G. En conclusión, podemos afirmar que existe un gran potencial de eficacia del ejercicio físico con VCC. Como muestra, pensemos que 10 minutos de ejercicio físico con VCC durante los cuales se está sometido a una aceleración de 17G corresponden a la misma carga física de aceleración que se desarrollaría efectuando 40 sesiones de entrenamiento con 200 «drop jumps» cayendo desde una altura de 100 cm (Bosco et al, 2000).

Como vemos, el ejercicio físico con VCC es una forma ideal de trabajar y mejorar cualquier manifestación de la fuerza, tanto en el ámbito de la fisioterapia-rehabilitación en pacientes como en la prevención de lesiones en personas sin patología aparente. Un aspecto especialmente interesante es la mejora de la fuerza en deportistas. En el ámbito de la fisioterapia estética, plástica y reparadora se ha extendido su empleo para la mejora del tono muscular y la eliminación de las flacideces. Sin embargo, no queremos dejar de insistir en que la programación del entrenamiento con VCC debe ser individual y personalizando al máximo por parte de un profesional experto. Estimamos que la VCC es una herramienta más, un complemento del tratamiento o entrenamiento, no la base de éste.

Efectos sobre la flexibilidad

Las investigaciones sobre los efectos de la vibroterapia en la amplitud del movimiento articular se han realizado con diferentes sistemas de vibración: puntuales (Sands et al, 2006; Kinser et al, 2008), con poleas (Issurin et al, 1994), plataformas de vibraciones verticales (Cardinale et al, 2003a; Van den Tillaar, 2006) y plataformas de vibraciones oscilatorias (Cochrane y Stannard, 2005; Schuhfried et al, 2005). Existen diferentes teorías que sustentan los hallazgos clínicos. La primera consiste en que la adaptación de los nociceptores aumenta progresivamente el umbral del dolor. Una segunda teoría postula la influencia del aumento de temperatura y los efectos tixotrópicos en los incrementos de extensibilidad (Porta et al, 2003). Se han testado diversos estratos poblacionales obteniendo resultados positivos en la flexibilidad isquiosural en mujeres entrenadas (Fagnani et al, 2006), en estudiantes de actividad física (Van den Tillaar, 2006) y en sujetos con una gran movilidad articular, como gimnastas (Sands et al, 2006), sin que parezca que afecte negativamente a la producción de fuerza y potencia muscular (Kinser et al, 2008). Otro criterio de investigación ha sido la región anatómica o la unidad funcional examinada. Así, la abducción del tren inferior registró un aumento de 14,5 cm con entrenamiento de vibraciones, frente a 4,1 cm mediante entrenamiento convencional; en un período de 3 semanas, con tres sesiones por semana (Issurin et al, 1994). Cardinale et al (2003a) observaron mejoras en la elasticidad de los músculos flexores de la rodilla aplicando VCC durante 5 minutos con una frecuencia de 20 Hz. Cochrane y Stannard (2005) aplicaron vibraciones con 26 Hz y 6 mm de amplitud y observaron mejoras de un 8,2% en el test de «sit-and-reach» en jugadores de hockey de élite. Van den Tillaar (2006) encuentra incrementos de hasta un 30% de flexibilidad en los isquiosurales de estudiantes a los que se les aplicó VCC con 10 mm de amplitud y 28 Hz de frecuencia, en seis series de 30 segundos.

Como conclusión, podemos conseguir unas mejoras de la flexibilidad con la aplicación de VCC, incluso con pacientes «muy rígidos». Sin embargo, es importante realizar posicionamientos correctos de los sujetos; esto es, en ángulos articulares que no resulten lesivos para la salud, porque la plataforma puede potenciar el efecto nocivo de la mala postura.

Efectos sobre el sistema endocrino

Otros beneficios fisiológicos pueden proceder del aumento de la producción de hormonas anabólicas, fundamentalmente hormona de crecimiento (GH) y testosterona, con una posible reducción de la concentración de la hormona catabólica cortisol. Así, [Bosco et al \(2000\)](#) obtuvieron cambios hormonales, respecto a la situación de reposo, tras 10 minutos de exposición al entrenamiento vibratorio, con aumentos del 460% de GH y del 7% de testosterona y una disminución del 32% de cortisol. También [Goto y Takamatsu \(2005\)](#) registraron incrementos moderados de las hormonas adrenalina y noradrenalina, mientras que la GH y el glicerol mantenían sus niveles iniciales. Estos beneficios no se presentan siempre de la misma forma, por lo que es necesario profundizar en cómo se debe planificar el procedimiento para producir esta serie de adaptaciones hormonales, porque, en su estudio, [Cardinale et al \(2006\)](#) no obtuvieron modificaciones en la respuesta del sistema endocrino tras diferentes protocolos de vibraciones en jóvenes deportistas.

Como conclusión, parece ser que al aplicarse los parámetros establecidos en el entrenamiento con plataformas de VCC se pueden conseguir valores hormonales secundarios a la respuesta muscular provocada por el entrenamiento. Esto mejoraría el anabolismo, en diferentes tejidos, acelerando la adaptación al entrenamiento intenso y la recuperación en cualquier tipo de lesión. Por el contrario, de no respetarse los parámetros aconsejados en el entrenamiento con plataformas vibratorias, se consigue el efecto contrario y no deseado.

Efectos sobre el sistema neuromuscular

Durante una sesión de VCC el modelo propioceptivo neural es muy estimulado, incrementando la fuerza que se registra después de un período de entrenamiento. Este aumento de la fuerza es atribuible, sobre todo en el primer período, cuando todavía no se ha manifestado ningún fenómeno hipertrófico, a una optimización del mecanismo de *feedback* propioceptivo. El aumento transitorio de la fuerza de contracción y de la producción de potencia muscular después de haberse sometido a vibración podría basarse en los mismos mecanismos de facilitación neural ([Delecluse et al, 2003](#)). Además, algunos estudios demostrarían cómo la VCC puede mejorar la capacidad de fuerza explosiva gracias a una mayor sincronización de las unidades motoras interesadas en el movimiento. Incluso, se produce una mejoría de la coordinación de los músculos sinérgicos, junto con un aumento de la inhibición de los músculos antagonistas ([Bosco et al, 2000](#)). No obstante, cabe recordar cómo algunos autores refieren que el efecto de potenciación del gesto inducido por las vibraciones puede ser de tipo transitorio y se frustra en el arco de unos 60 minutos después de la administración de éstas ([Torvinen et al, 2002b](#); [Delecluse et al, 2003](#)). Esta transitoriedad de la potenciación provocada por las vibraciones se puede explicar por el hecho de que el reflejo tónico vibrátil induce una sustancial, pero temporal, mejora del uso del reflejo miotático de elongación ([Delecluse et al, 2003](#)). De todas formas, es importante remarcar que, más allá de este particular aspecto, la actividad física con VCC efectuada de manera racional y sistemática puede inducir positivas y duraderas adaptaciones neuromusculares ([Bosco et al, 1999](#)). La mayor parte de las personas son incapaces de alcanzar una activación voluntaria completa de los músculos, en parte como consecuencia de estímulos corticoespinales poco eficaces ([Kramer y Häkkinen, 2006](#)). Numerosos estudios han registrado un aumento de la activación muscular tras la utilización de vibraciones, tanto en ejercicios del tren inferior como de las extremidades superiores ([Cardinale y Lim, 2003b](#); [Roelants et al, 2006](#); [Abercromby et al, 2007](#)). Por ello, la vibración mecánica puede ser un medio interesante para incrementar la intensidad de los entrenamientos ([Marín y](#)

Jiménez, 2007; Gonzalo, 2008). Bosco et al (1998) estudiaron a dos grupos de sujetos activos y practicantes de balonmano, con el fin de estudiar los efectos de las VCC. Tras 10 días de aplicación de vibraciones con una duración de 10 minutos por día se observaron cambios significativos en la potencia de salto, en saltos reactivos continuos en 5 segundos. Posteriormente, se han publicado dos estudios en los que se postula que el efecto de las VCC es también inmediato después de una sola sesión, lo que se denomina efecto agudo (Bosco et al, 1999a y 1999b). Como explicación de este efecto agudo podemos confirmar el aumento de los potenciales motores junto con el incremento de la frecuencia de la señal electromiográfica, tras una aplicación de VCC, lo que indica un estado de excitabilidad notable de la corteza motora. La consecuencia de todo ello es que la aplicación del estímulo vibratorio produce un estado de mayor eficiencia neuromuscular, que permite aumentar el rendimiento en los movimientos voluntarios.

Efectos sobre el sistema óseo

Existen estudios como el de Bisciotti (2005) que analiza la aplicación de la VCC sobre la osteoporosis. Se sabe que la estimulación mecánica fisiológica que produce el ejercicio físico intenso es especialmente útil tanto al limitar la pérdida de masa ósea como al estimular su incremento. La VCC permite una estimulación intensa del aparato musculoesquelético, sin necesitar un alto grado de dedicación por parte del paciente, lo que da como resultado una estrategia de intervención especialmente adecuada en el caso del paciente osteoporótico. Este aspecto ha sido documentado de forma experimental en estudios con ratas (Flieger et al, 1998). También existen evidencias científicas que analizan estos beneficios y que requieren estudios con una duración media de 6-12 meses, que han llegado a la conclusión de que la actividad física sobre plataformas vibratorias produce incrementos significativos en la densidad mineral ósea (DMO) o una disminución acusada de la pérdida habitual de DMO atribuible a la edad, tanto en el cuello del fémur como en el raquis lumbar (Verschueren et al, 2004; Iwamoto et al, 2005; Gusi et al, 2006). Por ello, consideramos que la VCC es capaz de favorecer un aumento de la DMO y puede constituir un medio terapéutico de elección en geriatría y gerontología en el ámbito de las terapias aptas para el cuidado y la prevención de la osteoporosis. En cuanto a la dosificación de los procedimientos de VCC con el fin de actuar sobre el sistema óseo existen diferentes estudios. Uno de los primeros, realizado en ovejas «viejas» por Rubin et al (2001a), propone los siguientes parámetros: 12 meses, cinco veces a la semana, 20 minutos al día, 30 Hz, aceleración pico 0,3G y una amplitud de 0,1 mm. Se consiguieron mejoras en la densidad ósea (+6,5%), el volumen óseo total (+32%), la tasa de formación ósea (+113%), la densidad trabecular (+34,2%), el número trabecular (+45%) y la superficie mineralizada (+144%). Otro estudio fue el realizado en mujeres posmenopáusicas por Verschueren et al (2004), sobre los cambios de DMO en la cadera. Compararon tres grupos: uno con entrenamientos de fuerza, uno de control y otro con VCC, con los siguientes parámetros: tres sesiones de 30 minutos de máximo, con calentamiento y vuelta a la calma, amplitud de 2,5 mm, frecuencia a 35-40 Hz, 2,28 y 5,9G de aceleración y durante 6 meses. Los resultados mostraron unos valores medios; el grupo control mantuvo la pérdida de DMO; el grupo de entrenamiento con fuerza redujo ligeramente esta pérdida y el entrenamiento con VCC aumentó la DMO. Los resultados positivos descritos en estudios sobre animales fueron llevados a cabo con muy baja magnitud (0,3 mm) y a una alta frecuencia 30 Hz (Rubin et al, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b). Parece ser que el efecto anabólico sobre el hueso trabecular lo causan los estímulos mecánicos de baja magnitud (0,2-0,3 mm) y de alta frecuencia (50-60 Hz). No está claro por qué razón la alta frecuencia provoca esos beneficios, pero según Rubin et al (2002b) la respuesta del hueso puede no resultar de su deformación sino de los efectos derivados de la señal de alta frecuencia, como el «estrés de cizallamiento» causado durante las contracciones voluntarias en la actividad deportiva. Este hecho nos permite plantear estos procedimientos como una forma ideal de prevenir la osteoporosis en fases iniciales (osteopenia) en pacientes de mediana edad, mientras se produce, además, una mejora de la masa muscular debida al trabajo muscular reflejo existente.

Efectos sobre el sistema cardiovascular

Rittweger et al (2001) estudiaron el consumo de oxígeno durante el último minuto de ejercicio en seis condiciones distintas: bipedestación sobre una plataforma vibratoria, sentadillas y sentadillas con carga. Todas ellas sin y con VCC. Concluyeron que, si bien son ejercicios progresivos en intensidad, al sumarle las VCC se aumentaba el consumo de oxígeno y, por ende, la potencia metabólica. Se crea más eficiencia muscular para captar oxígeno. Sin embargo, los autores comentan que este tratamiento con vibraciones precisa un nivel de metabolismo energético comparable al de un paseo moderado. Por ello, el tratamiento con VCC parece ser una forma magnífica de mejorar la resistencia muscular analítica, y puede ser muy útil en deportistas que deseen mejorar algún grupo muscular específico o en personas que deseen mejorar la circulación local de cierta zona del cuerpo.

Efectos sobre el equilibrio

Hay evidencias científicas que avalan que el ejercicio físico continuado sobre una plataforma vibratoria contribuye a mejorar del equilibrio estático, el control postural, la capacidad para caminar y otros tests específicos de competencia motriz (p. ej., el test de levantarse de una silla, etc.), sobre todo en población adulta y mayor (Gusi et al, 2006; Kawanabe et al, 2007). Así, los procedimientos de vibroterapia pueden mejorar aspectos propioceptivos y componentes específicos neuronales (Bosco et al, 2000). Este hecho redundante en una mayor capacidad postural (Polónýová et al, 2001). El equilibrio de un individuo puede entrenarse mediante las VCC porque estos procedimientos tienen la facultad de estimular la propiocepción y de provocar efectos duraderos sobre la postura en adultos sanos (Delecluse et al, 2003; Tous y Moras, 2004; Verschueren et al, 2004). Así, en sujetos adultos mayores se encontraron mejoras de un 7% del equilibrio (Bruyere et al, 2005). El empleo de VCC puede usarse como entrenamiento adicional para mejorar el equilibrio en atletas y en personas sedentarias, ya que la estimulación de los propioceptores plantares a una frecuencia ideal conlleva una menor oscilación del centro de masa y, con ello, una mejora de la postura.

Efectos sobre la composición corporal

Existen estudios sobre animales en los que el entrenamiento con VCC produce cambios en la acumulación de grasa y en los niveles séricos de leptina (Maddalozzo et al, 2008). Sin embargo, no tenemos suficiente evidencia científica de que la VCC, como medio exclusivo de entrenamiento, genere pérdida del tejido adiposo en humanos. No obstante, las mejoras en fuerza muscular y capacidad funcional antes señaladas, así como el refuerzo o el mantenimiento de la masa muscular, sugieren que el uso de las plataformas vibratorias puede ser un gran aliado para complementar programas de entrenamiento físico enfocados a la modificación de la composición corporal, puesto que puede ayudar en el incremento del ritmo metabólico basal, así como en la capacidad de mantener intensidades de entrenamiento más elevadas durante más tiempo. Además, existen estudios en los que se puede observar cómo la realización de ejercicios sobre la plataforma incrementa el consumo energético requerido respecto a esos mismos ejercicios ejecutados sin estímulo vibratorio (Garatachea et al, 2007). Por el contrario, en estudios como el de Roelants et al (2004a), en el que se analiza el efecto de 24 meses de VCC sobre la composición corporal en comparación con un entrenamiento tradicional de musculación, no se encontraron cambios significativos en el porcentaje de grasa, ni tampoco en el sumatorio de pliegues en ninguno de los grupos. Sin embargo, la masa libre de grasa aumentó significativamente (2,2%) en el grupo de estudio con entrenamiento de VCC. Autores como Rubin e Investigadores de la Universidad de Stony Brook, el laboratorio de Spring Harbor y el Centro de Maine para la Osteoporosis han realizado un interesante estudio sobre adelgazamiento provocado por vibraciones. Colocaron sobre una plataforma vibratoria a varios roedores durante 15 minutos diarios, y después de 15 semanas, pudieron comprobar que habían adelgazado, que presentaban un 27% menos de grasa, y que tenían más músculo

y hueso que el grupo de control. La vibración era casi imperceptible. Al parecer, las vibraciones «engañan» a las células madre y les hacen generar células de hueso o músculo en vez de grasas (*bone marrow stem cells*). El hallazgo parte de investigaciones relativas a vuelos espaciales tripulados, en las que se intentaba paliar la pérdida de hueso provocada por la falta de gravedad. Aunque quizás este estudio podría servir en el futuro de base para un tratamiento contra la obesidad y la diabetes tipo 2, surgen muchas preguntas y puntos oscuros, como reconoce el propio director del equipo de investigación.

Como aplicación práctica, parece que el uso de la VCC no conlleva en sí mismo una disminución del porcentaje graso, en comparación con otro ejercicio cardiovascular, pero sí es una buena forma de aumentar la masa magra, mejorar el aspecto general de la persona y elevar el metabolismo basal, consiguiendo a largo plazo una mejora duradera de la composición corporal. Con respecto a las aplicaciones de VCC en el ámbito estético y más concretamente en relación con la lipodistrofia o celulitis, hay que tener en cuenta varios aspectos. Las vibraciones transmitidas al cuerpo crean, entre otros, un proceso de combustión de grasas (lipólisis) y de drenaje que permite evacuar los desechos adiposos. Las plataformas vibratorias basculantes actúan directamente sobre la celulitis «sacudiéndola».

Efectos sobre la recuperación y el dolor muscular postejercicio

Aunque no conocemos con exactitud el mecanismo que lo explica, clínicamente observamos que la aplicación de una estimulación vibratoria a 50 Hz antes de un esfuerzo físico excéntrico reduce la aparición de marcadores séricos de daño muscular y se reduce la percepción de dolor por parte del sujeto (Bakhtiary et al, 2007). Rhea et al (2008) analizaron la eficacia de la VCC mediante ejercicios de estiramiento y masaje para la recuperación o la regeneración muscular tras entrenamientos intensos, registrando descensos de la percepción del dolor muscular postejercicio considerables (22-61%). Un aspecto importante de las vibraciones es el efecto miorrelajante inducido por éstas cuando se administran a ciertas frecuencias concretas, entre los 18 y los 20 Hz (Rittweger et al, 2003). Este aspecto puede ser de gran importancia con el fin de optimizar y/o complementar los protocolos de fisioterapia, recuperación funcional y programas de trabajo basados en técnicas de estiramiento, como en el caso de la lumbalgia (Rittweger et al, 2002b).

Efectos sobre pacientes con alteraciones neurológicas centrales

La VCC se está aplicando principalmente como herramienta terapéutica para la mejora de trastornos posturales porque se ha demostrado que favorece la percepción somatosensorial vibratoria a frecuencias que varían entre los 5 y los 30 Hz. Así, la VCC es una estimulación somestésica y sensorial profunda que tiene como blanco las fibras nerviosas aferentes tipos Ia y II o husos neuromusculares, de los grupos musculares de mayor longitud junto a las fibras nerviosas aferentes de la planta del pie. En pacientes con accidentes cerebrovasculares (ACV) y en un corto plazo se observó una disminución de la velocidad del desplazamiento del centro de presión en el sentido anteroposterior, lo cual se interpreta como el recentrado y estabilización del centro de gravedad (Van Nes et al, 2004). Autores como Tihanyi et al (2007) describen que en sujetos con secuelas de ACV, el uso de VCC aumenta transitoriamente la fuerza muscular de las extremidades inferiores, evaluada en el músculo cuádriceps, mostrando también una interesante reducción de la cocontracción del bíceps femoral (responsable de la espasticidad) durante el trabajo físico isométrico y excéntrico. A largo plazo, Van den Tillaar (2006) describe, en un grupo de 53 pacientes con discapacidad de moderada a grave, como secuela de un ACV, que el entrenamiento de 6 semanas (cuatro intervalos de 45 segundos, cinco veces por semana) con VCC mejoraba el rendimiento de los sujetos en distintas mediciones de balance e independencia funcional a lo largo del tratamiento. Sin embargo, no mostraban diferencias significativas en sus efectos si se comparaba con el entrenamiento del grupo control (que utilizó entrenamiento con música).

El empleo de VCC se ha examinado en otras patologías neurológicas de origen central. En este grupo podemos destacar a los enfermos de Parkinson y la mejora de la estabilidad postural (Haas et al, 2004a, b; Turbanski et al, 2005). Haas et al (2006a) observa mejoras significativas en síntomas como el temblor y la rigidez, así como en la puntuación del examen motor tras aplicar un entrenamiento con VCC (tabla 7.3). Sin embargo, Ebersbach et al (2008) compararon los efectos del entrenamiento con VCC y la fisioterapia convencional en pacientes con enfermedad de Parkinson. Llegaron a la conclusión de que la marcha, el equilibrio y los tests específicos y funcionales mejoran en ambos casos, sin poder determinar diferencias significativas en la comparación. La VCC provoca en estos pacientes efectos muy interesantes, pero quizá poco duraderos a largo plazo. Por ello, sería interesante investigar qué debe hacerse para que los efectos provocados a corto plazo redunden en mejoras a largo plazo, sin la necesidad continua de usar VCC.

En el estudio del empleo de la VCC en otras enfermedades neurológicas como la esclerosis múltiple, en grado leve y moderado, no se han encontrado evidencias de la mejora en el rendimiento muscular de la extremidad o en la capacidad funcional (Broekmans et al, 2010). En relación con la parálisis cerebral, los estudios existentes se limitan al beneficio sobre el incremento de la cortical ósea (Wren et al, 2010, 2011).

Efectos sobre el envejecimiento y la tercera edad

Uno de los primeros estudios de la aplicación de la VCC en sujetos ancianos fue el realizado por Runge et al (2000). Estos autores refieren un aumento del 18% de la potencia muscular de las extremidades inferiores en una población anciana sometida a VCC con los siguientes parámetros: tres sesiones por semana, tres series de 2 minutos, a la frecuencia de 27 Hz, con una duración total de 12 semanas. En conclusión, este método parece ser una forma ideal y poco lesiva de conseguir una mejor funcionalidad y una menor dependencia de personas mayores, con poco tiempo de trabajo. Otros estudios, como el desarrollado por Bautmans et al (2005), avalan estos efectos positivos de la VCC en sujetos ancianos.

TIPOS DE PLATAFORMAS VIBRATORIAS

Para clasificar los diferentes tipos de VCC o plataformas vibratorias que hay en el mercado, debemos comenzar centrándonos en la vibración que producen. Así, la clasificación más extendida se basa en el tipo de vibración que proporciona. Se describen tres tipos de plataformas:

1. Plataformas de vibración vertical. En este tipo de equipos el elemento de vibración realiza una vibración periódica con dirección superoinferior.
2. Plataformas de vibración oscilante o sinusoidal. Estos dispositivos aúnan las vibraciones con las oscilaciones. La plataforma vibratoria basculante trabaja en dos planos: coronal y sagital, y genera movimientos de izquierda a derecha y craneocaudales. Es lo que algunos autores definen como «sismoterapia tridimensional», donde los músculos son estimulados por los movimientos de aceleración desde la base de la plataforma. El trabajo muscular realizado es profundo y se logra en menos tiempo una mayor actividad física que con el entrenamiento tradicional y con menos riesgo de lesión. La base de la plataforma oscila por un motor en relación con un eje central, es decir, el fulcro de la oscilación se encuentra en el centro de la superficie de apoyo generando movimientos de balanceo izquierda-derecha.
3. Plataformas de vibración triplanar. Estos aparatos emiten vibraciones periódicas en los tres planos del espacio: craneocaudal, anteroposterior y lateral.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

La aplicación de las VCC mediante plataformas vibratorias requiere una especial atención tanto en lo referente a los parámetros de dosificación, que deben ser personalizados para cada

paciente y en cada sesión de tratamiento, como en lo relativo a las pautas correctas de colocación y seguimiento del sujeto durante la sesión de trabajo. Precisamente, la dosificación de estos procedimientos de vibroterapia es un elemento fundamental. Los criterios esenciales en el diseño de planes de trabajo con VCC se basan en una serie de variables que deben ser controladas con el objetivo de lograr unos óptimos resultados. Así, deberemos valorar las características y el momento de aplicación del impulso vibratorio atendiendo a los antecedentes y a las necesidades personales y teniendo en cuenta las premisas que impone la realización de actividad física sobre este tipo de implemento y las normas de seguridad. Conseguiremos, de esta forma, adaptar la carga de trabajo físico, que puede ser bastante variable en función del tipo de equipamiento utilizado, y la dosis del estímulo vibratorio recibido por el individuo; todo ello en un entorno seguro y agradable de entrenamiento para nuestros pacientes (Marín y Rhea, 2010a, 2010b).

A continuación pasamos a describir los diferentes parámetros a programar en los equipos de VCC.

1. Frecuencia de la vibración. Se define como el número de vibraciones en un segundo de tiempo y se mide en hertzios (Hz). La frecuencia en realidad describe la velocidad a la que oscilará la plataforma. Los límites habituales de frecuencias de las plataformas vibratorias que existen en el mercado para el tratamiento-entrenamiento físico están entre los 20 y los 55 Hz. Además, se ha demostrado que las vibraciones específicas para el trabajo muscular oscilan entre 22 y 50 Hz (Tous y Moras, 2004; Luo et al, 2005; Chulvi y Pablos, 2006; Marín, 2008). La mayoría de los estudios refieren frecuencias de 30 Hz como las más efectivas para el desarrollo de las distintas manifestaciones de la fuerza muscular (Da Silva et al, 2006). Por el contrario, el empleo de frecuencias altas, mayores o iguales a 50 Hz, se considera negativo para el organismo humano. De igual forma, frecuencias menores de 20 Hz pueden provocar alteraciones en los diferentes tejidos corporales, porque actúan a nivel de la frecuencia de resonancia de los tejidos: esto es, cuando un cuerpo o tejido capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo período de vibración coincide con el período de vibración característico de dicho cuerpo (Yue et al, 2001). En el cuerpo humano esta frecuencia de resonancia estaría comprendida entre 9 y 16 Hz, como se expone en la [tabla 7.2](#).
2. Amplitud de la vibración. Es uno de los parámetros fundamentales de estos procedimientos de VCC. La amplitud es el rango o longitud de movimiento en cada vibración o en cada oscilación. Se mide en milímetros y está directamente relacionada con el tipo de vibración aplicada. En las plataformas basculantes, la amplitud es la distancia (altura) comprendida entre la posición fija o eje central y la posición extrema, de un lado y del otro. Este desplazamiento en altura u oscilación vertical de la plataforma de apoyo posee una amplitud definida o puede contemplar la elección de diversas amplitudes dentro de un rango, generalmente entre 1 y 13 mm. Con respecto a las plataformas triplanares, la amplitud de vibración está establecida en el límite en 5 mm, y la más utilizada es la de 2 mm. Así, varios autores (Chulvi y Pablos, 2006; Marín, 2008) cifran las amplitudes de la vibración ideales entre los 2 y los 10 mm.
3. Duración o tiempo de exposición a la vibración. Como premisa, se recomienda que se realicen series inferiores al minuto y medio, y que los descansos duren como mínimo el mismo tiempo, antes de la siguiente serie de entrenamiento vibratorio. En cuanto a la frecuencia semanal, se aconseja no sobrepasar las tres sesiones semanales (Chulvi y Pablos, 2006).

TABLA 7.2 Tabla de frecuencia de resonancia de los diferentes tejidos

5-15 Hz	Todo el cuerpo
8 Hz	Columna vertebral/músculos
8 Hz	Órganos internos
18-20 Hz	Cabeza/ojos



FIGURA 7.3 Posición básica que hay que adoptar al situarse sobre una plataforma de vibraciones de cuerpo completo (VCC).

Seguidamente, vamos a proponer unas pautas que deben seguirse en la utilización de las plataformas de VCC con el objetivo de establecer una progresión adecuada:

1. Siempre debemos comenzar con una anamnesis que recoja el tipo de actividad física realizada por el paciente-usuario, con el fin de descartar posibles contraindicaciones.
2. Realizar una inspección y evaluación de la postura el sujeto, para asegurarnos de que adoptará la posición correcta encima de la plataforma. Debe existir una correcta alineación de las diversas articulaciones expuestas a la vibración, sin que haya bloqueo articular y evitando también una posición forzada o no fisiológica, como se muestra en la figura 7.3.
3. En la primera sesión de trabajo comenzaremos con posiciones isométricas y en diferentes rangos articulares. No hay que sobrepasar los 7 u 8 minutos de exposición a la vibración.
4. Evaluar posibles molestias o dolores aparecidos en el individuo, antes de realizar la siguiente sesión de tratamiento.
5. Aumentar progresivamente el tiempo e intensidad de la sesión, según se produzcan adaptaciones en el paciente.
6. Respetar siempre el máximo establecido por sesión (no más de 25-30 minutos) y por serie (no más de 1-2 minutos, con un mismo intervalo de descanso) adaptándonos a las características físicas del sujeto.
7. No sobrepasar la frecuencia aconsejada de 50 Hz, y no bajar por debajo de 20 Hz.
8. Se realizarán un máximo de tres sesiones a la semana, en días alternos.
9. El tiempo de exposición al estímulo vibratorio por sesión durante las primeras 4 semanas no deben sobrepasar los 10-12 minutos.
10. Se cambiará la rutina que debe seguir un paciente principiante o sedentario cada mes, o cuando se haya adaptado de forma eficiente al estímulo vibratorio al que ha sido sometido.

Un ejemplo de trabajo completo con un individuo principiante sería el siguiente: realizar un ejercicio de mantenimiento sobre la plataforma, con ligera flexión de cadera, rodilla y tobillo, con el fin de evaluar su forma física; esta posición puede repetirse de una a tres series (según el tiempo de exposición y la forma física). Durante las siguientes sesiones de exposición, se irá aumentando el tiempo en cada serie, pudiendo llegar al minuto, sin olvidar que se debe respetar el mismo tiempo de recuperación.

INDICACIONES

Las indicaciones de la vibroterapia debemos abordarlas desde perspectivas diferentes si estamos ante una aplicación torácica, problemas respiratorios, o cuando se emplea mediante plataformas vibratorias en cualquier tipo de problema. Esta última modalidad terapéutica de VCC se suele aplicar de forma genérica con el objeto de mejorar la condición física y la reeducación funcional de los sujetos. Pero en los últimos estudios aparecen beneficios en diferentes patologías como osteoporosis, obesidad y sobrepeso, enfermedades cardiovasculares, algunas de las relacionadas con el envejecimiento e incluso en las disfunciones del suelo pélvico, entre otras. Además, se está empleando en el acondicionamiento físico y deportivo para el desarrollo del refuerzo muscular, la mejora de las capacidades físicas (velocidad o resistencia), etc. En adición, en el ámbito estético se está implementando y aprovechando su acción lipolítica, anticelulítica y de drenaje.

Creemos muy oportuno referirnos a los beneficios que el uso de las plataformas VCC tienen sobre diferentes sistemas corporales: endocrino, osteoarticular, neuromuscular y cardiovascular. Se puede considerar que la actividad física y/o los procedimientos de fisioterapia suplementada con VCC pueden tener numerosas aplicaciones tanto en el campo de la fisioterapia-rehabilitación como en el mundo deportivo y estético, con una visión tanto preventiva como terapéutica. No obstante, también hay numerosos estudios que demuestran la inexistencia de beneficios sistémicos si se aplican parámetros inadecuados y la forma de utilización es incorrecta. En estos casos se puede llegar a provocar un deterioro de las variables que se pretende mejorar e incluso inducir lesiones graves a los pacientes y usuarios. Por ello, el tratamiento con VCC puede emplearse como entrenamiento suplementario o alternativo, en especial en caso de lesiones, pero bajo el control de un profesional de la salud como es el fisioterapeuta. La facilidad de uso de las máquinas de vibraciones y el poco tiempo necesario para que se produzcan resultados permiten que este tipo de trabajo pueda ser un buen complemento o alternativa a otras técnicas de fisioterapia y/o métodos de entrenamiento (por ejemplo, la realización de Pilates sobre ellas). Aun así, sigue siendo un procedimiento novedoso y no se han valorado los efectos de exposición prolongada a la vibración a largo plazo.

EFFECTOS ADVERSOS Y CONTRAINDICACIONES

Las contraindicaciones derivadas de los procedimientos de vibroterapia son principalmente las que se refieren a las malas aplicaciones de las técnicas y la impericia del fisioterapeuta. Por otro lado, los efectos adversos derivados del uso de plataformas de vibración completa no se conocen con suficiente claridad. Sin embargo, existen evidencias científicas que proponen una serie de alteraciones achacables al empleo inadecuado de estos procedimientos de vibración, casi todos provocados por posicionamientos incorrectos y/o sobreuso de este método de entrenamiento y recuperación funcional (Chulvi, 2006) (tabla 7.3).

A continuación, pasamos a exponer una serie de contraindicaciones que no debemos olvidar antes de aplicar una sesión de VCC en un paciente o usuario. Con el fin de hacer una diferenciación, para una mayor operatividad las hemos dividido en absolutas y relativas, que serán sopesadas por el fisioterapeuta en cada caso concreto.

Contraindicaciones absolutas

1. Marcapasos, arritmias y/o mal funcionamiento de las válvulas cardíacas.
2. Embarazo.

TABLA 7.3 Efectos indeseados provocados por un estímulo vibratorio (modificado de Chulvi, 2006).

Efecto negativo	Estudio
Edemas y eritemas	Kerschman-Schindl et al. 2001; Rittweger et al, 2002a
Vértigos, lumbalgias, epilepsia	Mester et al, 2005
Síndrome por vibración, presentando disfunciones neuronales	Jordan et al, 2005
Lumbalgias	Rittweger et al, 2002b; Jordan et al, 2005
Molestias y dolores en sujetos desentrenados	Rittweger et al, 2003; Cardinale y Pope, 2003
Reducción en el flujo sanguíneo, posibilidad de «dedo blanco»	Bovenzi et al, 2001; Bovenzi y Hulshof, 1999
Un excesivo tiempo de exposición a vibraciones puede provocar fatiga e inhibición del rendimiento muscular	Bosco et al, 1998; De Ruiter et al, 2003; Cardinale y Pope, 2003

3. Epilepsia.
4. Trombosis aguda y reciente.
5. Infección e inflamación agudas.
6. Tumores o patologías malignas.
7. Implantes recientes.
8. Fracturas recientes.
9. Patología discal aguda.
10. Tendinopatías agudas.
11. Litiasis de vías renales y biliares.
12. Episodios agudos de osteoartritis, artritis, artrosis y osteoporosis avanzadas.

Contraindicaciones relativas

1. Niños.
2. Migraña aguda.
3. Hernias discales, discopatías, espondilosis, espondilólisis y espondilolistesis.
4. Enfermedad cardiovascular.
5. Mujeres con DIU colocado recientemente.
6. Personas con material osteosintético.
7. Diabéticos.
8. Heridas postoperatorias recientes (especialmente en lesiones oculares).

Bibliografía

- Abercromby AF, Amonette WE, Layne CS, McFarlin BK, Hinman MR, Paloski WH. Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(10):1794-800.
- Al-Alaiyan S, Dyer D, Khan B. Chest physiotherapy and post-extubation atelectasis in infants. *Pediatric Pulmonology* 1996;21:227-30.
- Antonello M, Delplanque D. *Fisioterapia Respiratoria. Del diagnóstico al proyecto terapéutico*. Barcelona: Masson; 2002.
- App EM, Kieselmann R, Reinhardt D, Lindemann H, Dasgupta B, Ing M, et al. Sputum rheology changes in cystic fibrosis lung disease following two different types of physiotherapy. *Chest* 1998;114(1):171-7.
- Arcas Patricio MA, Gálvez Domínguez D, León Castro JC, Paniagua Román S, Pellicer Alonso M. *Manual de Fisioterapia. Módulo II. Neurología, Pediatría. Fisioterapia respiratoria*. Sevilla: Ed. MAD; 2004.

- Ariizumi M, Okada A. Effect of whole body vibration on the rat brain content of serotonin and plasma corticosterone. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;52(1):15-9.
- Ariizumi M, Okada A. Effects of whole body vibration on biogenic amines in rat brain. *Br J Ind Med* 1985;42(2):133-6.
- Bakhtiary AH, Safavi-Farokhi Z, Aminian-Far A. Influence of vibration on delayed onset of muscle soreness following eccentric exercise. *Br J Sports Med* 2007;41(3):145-8.
- Bautmans I, Van Hees E, Lempers J, Mets T. The feasibility of whole body vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility. A randomised controlled trial. *BMC Geriatrics* 2005;5:17.
- Bisciotti GN. Aspetti neurofisiologici ed applicativi dell'allenamento vibratorio. *Scienza & Sport.com* 2005;66:53-9.
- Bosco C, Cardinale M, Colli R, Tihany J, Von Duvillard SP, Viru A. The influence of whole body vibration on the mechanical behavior of skeletal muscle. *Biol Sport* 1998;15(3):157-67.
- Bosco C, Colli R, Intorini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 1999a;19(2):183-7.
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup* 1999b;79:306-11.
- Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, et al. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* 2000;81(6):449-54.
- Bosco C, Colli R, Intorini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 2001;19(2):183-7.
- Bovenzi M, Hulshof CT. An update review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *Int Arch Occup Environ Health* 1999;72:351-65.
- Bovenzi M, Barbone F, Pisa F, Betta A, Romero L. Scleroderma and occupational exposure to hand-transmitted vibration. *Int Arch Occup Environ Health* 2001;74:579-82.
- Broekmans T, Roelants M, Alders G, Feys P, Thijs H, Eijnde BO. Exploring the effects of a 20-week whole-body vibration training programme on leg muscle performance and function in persons with multiple sclerosis. *J Rehabil Med* 2010;42(9):866-72.
- Brooks D, Newbold E, Kozar LF, Rivera M. The Flutter device and expiratory pressures. *J Cardiopulm Rehabil* 2002;22(1):53-7.
- Bruyere O, Wuidart M, Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, et al. Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:303-7.
- Cardinale M, Lim J. The acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jump performance. *Med Del Sport* 2003a;56:287-92.
- Cardinale M, Lim J. Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res* 2003b;17(3):621-4.
- Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exer Sport Sci Rev* 2003;31:3-7.
- Cardinale M, Pope MH. The effects of whole body vibration on human: dangerous or advantageous? *Acta Physiol Hung* 2003;90:195-206.
- Cardinale M, Leiper J, Erskine J, Milroy M, Bell S. The acute effects of different whole body vibration amplitudes on the endocrine system of young healthy men: a preliminary study. *Clin Physiol Funct Imaging* 2006;26(6):380-4.
- Chulvi I. Aplicación de vibraciones mecánicas como medio de entrenamiento deportivo. *Alto Rendimiento* 2006;31:3-7.
- Chulvi I, Pablos C. Una nueva forma de entrenamiento. Las vibraciones. *Revista de Entrenamiento Deportivo (RED)* 2006;20(2):6-12.
- Da Silva M, Vaamonde DM, Padullés JM. Efectos del entrenamiento con vibraciones mecánicas sobre la «performance» neuromuscular. *Apunts* 2006;84:39-57.
- Da Silva ME, Núñez VM, Vaamonde D, Fernández JM, Poblador MS, García-Manso JM, et al. Effects of different frequencies of whole body vibration on muscular performance. *Biology of Sport* 2006;23(3):267-82.
- De Ruiter CJ, Van Raak SM, Schilperoort JV, Hollander AP, De Haan A. The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol* 2003;90(5-6):595-600.
- Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength Increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(6):1033-41.
- Doering TJ, Fieguth HG, Steuernagel B, Brix J, Konitzer M, Schneider B, et al. External stimuli in the form of vibratory massage after heart or lung transplantation. *Am J Phys Med Rehabil* 1999;78(2):108-10.
- Ebersbach G, Edler D, Kaufhold O, Wissel J. Whole body vibration versus conventional physiotherapy to improve balance and gait in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil* 2008;89(3):399-403.
- Garatachea N, Jiménez A, Bresciani G, Marino NA, González-Gallego J, De Paz JA. The effects of movement velocity during squatting on energy expenditure and substrate utilization in whole-body vibration. *J Strength Cond Res* 2007;21(2):594-8.
- Gonzalo Martínez I. Utilización de plataformas vibratorias. *Sports Managers* 2008;59:42-7.
- Goto K, Takamatsu K. Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Japan J Physiol* 2005;55:279-84.
- Gregson RK, Stocks J, Petley GW, Shannon H, Warner JO, Jagannathan R, et al. Simultaneous measurement of force and respiratory profiles during chest physiotherapy in ventilated children. *Physiol Meas* 2007;28(9):1017-28.
- Gusi N, Raimundo A, Leal A. Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 2006;30(7):92.

- Haas CT, Turbanski S, Schmidtleicher D. Postural control training in Parkinson's disease. *Isok Ex Sci* 2004a;12:12-3.
- Haas CT, Turbanski S, Schmidtleicher D. Effects of whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Mov Disord* 2004b;19(Suppl. 9):518. 185.
- Haas CT, Buhlmann A, Turbanski S, Schmidtleicher D. Proprioceptive and sensorimotor performance in Parkinson's disease. *Res Sports Med* 2006a;14(4):273-87.
- Haas CT, Turbanski S, Kessler K, Schmidtleicher D. The effects of random wholebody-vibration on motor symptoms in Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation* 2006b;21(1):29-36.
- Hagbarth KE. EMG studies of stretch reflex in man. *Electroencephal Clin Neurophysiol* 1967;Suppl 25:74-9.
- Hofmeyr JL, Webber BA, Hodson ME. Evaluation of positive expiratory pressure as an adjunct to chest physiotherapy in the treatment of cystic fibrosis. *Thorax* 1986;41(12):951-4.
- Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* 1994;12(6):561-6.
- Issurin VB, Tenenbaum G. Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *J Sports Sci* 1999;17(3):177-82.
- Issurin VB. Vibrations and their applications in sport. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45(3):324-36.
- Iwamoto J, Takeda T, Sato Y, Uzawa M. Effect of whole-body vibration exercise on lumbar bone mineral density, bone turnover, and chronic back pain in post-menopausal osteoporotic women treated with alendronate. *Aging Clin Exp Res* 2005;17(2):157-63.
- Kawanabe K, Kawashima A, Sashimoto I, Takeda T, Sato Y, Iwamoto J. Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *Keio J Med* 2007;56(1):28-33.
- Kersch-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, et al. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol* 2001;21(3):377-82.
- Kim CS, Iglesias AJ, Sackner MA. Mucus clearance by two-phases gas-liquid flow mechanism: asymmetric periodic flow model. *J Applied Physiol* 1987;62(3):959-71.
- King M, Phillips DM, Gross D. Enhanced tracheal mucus clearance with high frequency chest wall compression. *Am Rev Respir Dis* 1983;128(3):511-5.
- Kinser AM, O'Bryant HS, Ayres CA, Sands WA, Stone MH. Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40(1):133-40.
- Kramer WJ, Häkkinen K. Entrenamiento de la fuerza. Barcelona: Ed. Hispano Europea, S.A; 2006.
- Lanza FDC, Kim AHK, Silva JL, Vasconcelos A, Tsopanoglou SP. Does chest vibration during respiratory physiotherapy in neonates cause pain? *Rev Paulista Pediatr* 2010;28(1):10-4.
- Luo J, McNamara B, Moran K. The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Med* 2005;35(1):23-41.
- Maddalozzo GF, Iwaniec UT, Turner RT, Rosen CJ, Widrick JJ. Wholebody vibration slows the acquisition of fat in mature female rats. *Int J Obes (Lond)* 2008;32(9):1348-54.
- Marín P. Aplicaciones de la estimulación neuromuscular mecánica (vibraciones): Recursos metodológicos y tecnológicos. En: Jiménez A (coord.). Nuevas dimensiones en el entrenamiento de la fuerza: aplicación de nuevos métodos, recursos y tecnologías. Barcelona: Inde; 2008.
- Marín Cabezuolo PJ, Jiménez A. Fundamentos, medios y efectos de la estimulación neuromuscular mecánica. En: Jiménez A (ed.). Avances en entrenamiento de fuerza. Madrid: Escuela de Estudios Universitarios Real Madrid; 2007. p. 11-36.
- Marín PJ, Rhea M. Effects of vibration training on muscle power: a meta-analysis. *J Strength Cond Res* 2010;24(3):871-8.
- McCarren B, Alison J. Physiological effects of vibration in subjects with cystic fibrosis. *Eur Respir J* 2006;27(6):1204-9.
- McCarren B, Alison J, Herbert R. Vibration and this effect on the respiratory system. *Austr J Physiother* 2006a;52(4):39-43.
- McCarren B, Alison JA, Herbert RD. Manual vibration increases expiratory flow rate via increased intrapleural pressure in healthy adults: An experimental study. *Austr J Physiother* 2006b;52(4):267-71.
- McIlwaine M. Chest physical therapy, breathing techniques and exercise in children with CF. *Pediatr Respir Rev* 2007;8(1):8-16.
- Mester J, Kleinoder H, Yue Z. Vibration training: benefits and risks. *J Biomech* 2006;39(6):1056-65.
- Nakamura S, Kawakami M. Acute effect of use of the Flutter on expectoration of sputum in patients with chronic respiratory diseases. *Japan J Thorac Dis* 1996;34(2):180-5.
- Padulles JM. Vibraciones, un nuevo método de entrenamiento. *Set Voleibol* 2001;54-6. Mayo.
- Paradisis G, Zachariogiannis E. Effects of whole-body vibration training on sprint running kinematics and explosive strength performance. *J Sports Sci Med* 2007;6(1):44-9.
- Pattanshetty RB, Gaude GS. Effect of multimodality chest physiotherapy in prevention of ventilator-associated pneumonia: a randomized clinical trial. *Indian J Crit Care Med* 2010;14(2):70-6.
- Perrota C, Ortiz Z, Roque M. Fisioterapia respiratoria para la bronquiolitis aguda en pacientes pediátricos de hasta 4 meses de vida. *Cochrane Plus* 2008;2:2-13.
- Pinto NS, Monteiro MB, Meyer PF, Santos-Filho SD, Azevedo-Santos F, Bernardo RM, et al. The effects of whole-body vibration exercises in Parkinson's disease: a short review. *J Med Med Sci* 2010;2(1):594-600.
- Polóniyová A, Hlavacka F. Human postural responses to different frequency vibrations of lower leg muscles. *Physiol Res* 2001;50:405-10.

- Porta J, Mas J, Paredes C, Izquierdo E, Aliaga J, Martí D. Efectos de una sesión de vibroestimulación en la fuerza máxima y explosiva de ciclistas y saltadores junior. *RED* 2003;17(4):9-15.
- Poston B, Holcomb WR, Guadagnoli MA, Linn LL. The acute effects of mechanical vibration on power output in the bench press. *J Strength Cond Res* 2007;21(1):199-203.
- Pryor JA. Physiotherapy for airway clearance in adults. *Eur Respir J* 1999;14(6):1418-24.
- Rhea MR, Bunker D, Marín PJ, Lunt K. Effect of iTonic wholebody vibration on delayed-onset muscle soreness among untrained individuals. *J Strength Conditioning Res* 2009;23(6):1677-82.
- Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D. Oxygen uptake during whole body-vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. *Eur J Appl Physiol* 2001;86:169-73.
- Rittweger J, Ehrig J, Kust K, Multschelkanauss M, Kirsch KAH, Felsenberg D. Oxygen uptake in whole body-vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude and external load. *Int J Sports Med* 2002a;23:428-32.
- Rittweger J, Just K, Kirsch KA, Reeg P, Felsenberg D. Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise. *Spine* 2002b;27:1829-34.
- Rittweger J, Mutschelknauss M, Felsenberg D. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol Func Im* 2003;23:81-6.
- Roelants M, Delecluse C, Goris M, Verschueren S. Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med* 2004;25(1):1-5.
- Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, Levin O, Stijnen V. Whole-body-vibration induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res* 2006;20:124-9.
- Rønnestad BR. Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 2004;18(4):839-45.
- Rubin C, McLeod K. Promotion of bony ingrowth by frequency-specific, low-amplitude mechanical strain. *Clin Orthop* 1994;298:165-74.
- Rubin C, Xu G, Judex S. The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *Faseb J* 2001a;15:2225-9.
- Rubin C, Turner S, Bain S, Mallinckrodt C, McLeod K. Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature* 2001b;412:603-4.
- Rubin C, Turner S, Muller R, Mittra E, McLeod K, Lin W, et al. Quantity and quality of trabecular bone in the femur are enhanced by a strongly anabolic, non-invasive mechanical intervention. *JBM* 2002a;17:349-57.
- Rubin C, Turner S, Mallinckrodt C, Jerome C, McLeod K, Bain S. Mechanical strain, induced noninvasively in the high-frequency domain, is anabolic to cancellous bone, but not cortical bone. *Bone* 2002b;30:445-52.
- Runge M, Rehfeld G, Resnick E. Balance training and exercise in geriatric patients. *J. Musculoskeletal Neuronal Interact* 2000;1(1):61-5.
- Rutland J, Griffin WM, Cole PJ. Human ciliary beat frequency in epithelium from intrathoracic and extrathoracic airways. *Am Rev Respir Dis* 1982;125(1):100-5.
- Sands WA, McNeal JR, Stone MH, Russell EM, Jemni M. Flexibility enhancement with vibration: Acute and long-term. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(4):720-5.
- Schuhfried OMC, Jovanovic T, Pieber K, Paternostro-Sluga T. Effects of wholebody vibration in patients with multiple sclerosis: a pilot study. *Clin Rehabil* 2005;19(8):834-42.
- Seidel H, Griffin, MJ. Whole-body vibration (4.ª ed.). En: *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. Vol. 2. International Labour Office, 1998.
- Shannon H, Gregson R, Stocks J, Cole TJ, Main E. Repeatability of physiotherapy chest wall vibrations applied to spontaneously breathing adults. *Physiotherapy* 2009;95(1):36-42.
- Shannon H, Stiger R, Gregson RK, Stocks J, Main E. Effects of chest wall vibration timing on peak expiratory flow and inspiratory pressure in a mechanically ventilated lung model. *Physiotherapy* 2010;96(4):344-9.
- Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen TAH, Pasanen M, Kontulainen S, et al. Effect of vibration exposure on muscle performance and body balance: A randomized cross-over study. *Clin Physiol Func Im* 2002a;22:145-52.
- Torvinen S, Sievänen H, Järvinen TAH, Pasanen M, Kontulainen S, Kannus P. Effect of 4-min vertical whole vibration reflex on muscle performance and body balance: A randomized cross-over study. *Int J Sport Med* 2002b;23:374-9.
- Tous J, Moras G. Entrenamiento por medio de vibraciones mecánicas: revisión de la literatura. En: *www.efdeportes.com/Revista digital - Buenos aires- 2004;10:79*.
- Tihanyi TK, Horvath M, Fazekas G, Hortobagyi T, Tihanyi J. One session of whole body vibration increases voluntary muscle strength transiently in patients with stroke. *Clin Rehabil* 2007;21(9):782-93.
- Turbanski S, Haas CT, Schmidtbleiches D, Friedrich A, Duisberg P. Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Res Sports Med* 2005;13(3):243-56.
- Valente AM, Gastaldi AC, Cravo SL, Alfonso JL, Sologren MJJ, Guimaraes RC. The effect of two techniques on the characteristics and transport of sputum in patients with bronchiectasis. A pilot study. *Physiotherapy* 2004;90(3):148-64.
- Van den Tillaar R. Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstring? *J Strength Cond Res* 2006;20(1):192-6.
- Van der Schans CP, Postma DS, Koëter GH, Rubin BK. Physiotherapy and bronchial mucus transport. *Eur Respir J* 1999;13(6):1477-86.
- Van Nes IJ, Geurts AC, Hendricks HT, Duysens J. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;83:867-73.
- Verschueren S, Roelants M, Delecluse Ch, Swinnen S, Vanderschueren D, Boonen S. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res* 2004;19(3):352-9.

- Wagener JS, Hadley AA. Cystic fibrosis: current trends in respiratory care. *Respir Care* 2003;48(3):234-45.
- Webber BA, Pryor JA, Bethune DD, Potter HM, McKenzie D. *Physiotherapy techniques. Physiotherapy for respiratory and cardiac problems* (2.^a ed.). Edinburgh: Churchill Livingstone; 1998. p. 149.
- Wong WP, Paratz JD, Wilson K, Burns YR. Hemodynamic and ventilatory effects of manual respiratory physiotherapy techniques of chest clapping, vibration, and shaking in an animal model. *J Appl Physiol* 2003;95(3):991-8.
- Wren TAL, Lee DC, Hara R, Rethlefsen SA, Kay RM, Dorey FJ, et al. Effect of high frequency, low magnitude vibration on bone and muscle in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2010;30:732-8.
- Wren TAL, Chung SA, Dorey FJ, Bluml S, Adams GB, Gilsanz V. Bone marrow fat is inversely related to cortical bone in young and old subjects. *J Clin Endocrinol Metabol* 2011;96:782-6.

Presoterapia y depresoterapia

María de la Casa Almeida

Doctora por la Universidad de Sevilla. Profesora del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Introducción 161

Depresoterapia 162

- Definición 162
- Antecedentes históricos y nomenclatura 162
- Elementos básicos de un dispositivo de depresoterapia 162
- Principios de aplicación 163
- Evidencia científica de la depresoterapia 165
- Efectos fisiológicos 168
- Efectos terapéuticos 168
- Indicaciones y contraindicaciones de la depresoterapia 169
- Tratamientos combinados 170

Presoterapia 170

- Definición 170
- Antecedentes históricos 170
- Elementos básicos y evolución de los dispositivos de compresión neumática intermitente 171
- La compresión neumática intermitente y el sistema circulatorio 173
 - La compresión neumática intermitente y el sistema venoso y arterial 173
 - La compresión neumática intermitente sobre el sistema linfático 179
- Indicaciones y contraindicaciones de la presoterapia 180
- Tratamientos combinados 181

161

INTRODUCCIÓN

En el capítulo que presentamos a continuación abordaremos el estudio de la presoterapia como el procedimiento de fisioterapia caracterizado por **la aplicación de presión continua o pulsátil con objeto de producir un vacío en una zona corporal**, por tanto, deberemos incluir en este apartado tanto lo que conocemos como presoterapia convencional (aplicación de presión positiva) como lo que conocemos por depresoterapia o vacuumterapia (aplicación de presión negativa o de succión). Sin embargo, debido a las diferencias existentes entre ellas en cuanto a sus efectos fisiológicos y a su aplicación se refiere, es habitual hacer una clara diferenciación entre ambas terapias. Así pues, a partir de ahora, abordaremos independientemente cada una de ellas de modo que, cuando nos refiramos a la aplicación de presión negativa o de succión hablaremos de depresoterapia y cuando lo hagamos en relación con la aplicación de presión positiva hablaremos de presoterapia.

DEPRESOTERAPIA

A continuación presentamos el abordaje teórico, intentando hacerlo desde la evidencia científica existente, de los aspectos más relevantes de la depresoterapia o vacuumterapia, es decir, de la aplicación de una presión negativa o de succión, como herramienta terapéutica de la fisioterapia.

DEFINICIÓN

Podemos definir la depresoterapia como **una técnica instrumental no invasiva**, caracterizada por la aplicación sobre la piel de una **fuerza de succión mecánica controlada** (presión negativa o vacío) que puede ser **continua o pulsada, estática o dinámica**, y que tiene como objetivos principales la obtención de una serie de **cambios fisiológicos, histológicos y funcionales** en aquella, en el tejido celular subcutáneo, y en el sistema circulatorio principalmente.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y NOMENCLATURA

La vacuumterapia, como también se conoce a la depresoterapia, posee un origen ancestral que parece situarse en Oriente y que ha ido evolucionando a lo largo de la historia. Este procedimiento fisioterapéutico, desde sus inicios, cuando se utilizaban vasos en los que se realizaba un vacío mediante un algodón impregnado en alcohol, ha sufrido una gran evolución hasta llegar a los sofisticados equipos que conocemos actualmente.

Los inicios de la depresoterapia moderna se atribuyen a Louis Paul Guitay quien, en Francia a finales de la década de 1970, desarrolló el primer equipo de vacuumterapia (LPG®) destinado inicialmente al tratamiento de las cicatrices (Ersek, 1997; Fodor 1997, 1998; Chang, 1998; Benelli, 1999; Watson, 1999; Gulec, 2009).

No obstante, a pesar de su evolución, existe una falta de evidencia científica que dificulta el abordaje de la depresoterapia de manera precisa, por lo que, en ocasiones, deberemos guiarnos por la experiencia clínica del fisioterapeuta experto en la aplicación de esta técnica intentando ser lo más coherentes y rigurosos posible.

Finalmente, deseamos destacar cómo a lo largo del tiempo la depresoterapia ha recibido otras denominaciones empleadas, en ocasiones, como sinónimos que debemos conocer, ya que nuestros pacientes a menudo nos preguntarán por ellas: terapia Endermológica® o Endermología®, endermoterapia, terapia de vacío, masaje aspirativo o terapia subdérmica no invasiva (NIST).

ELEMENTOS BÁSICOS DE UN DISPOSITIVO DE DEPRESOTERAPIA

De un modo esquemático podríamos afirmar que cualquier sistema de depresoterapia se compone de los siguientes *elementos*: un *motor o bomba de aspiración* (succión o presión negativa) a la que se conectan unos *conductos* a los que, a su vez, se acoplan bien unas *campanas de aspiración*, bien distintos *cabezales o manípulos intercambiables* (fig. 8.1). Son estos terminales los que se aplicarán sobre la piel del paciente provocando el vacío y tomando el pliegue cutáneo como se muestra en la figura 8.2.

Estos cabezales intercambiables pueden variar tanto en forma como en tamaño, permitiendo un mejor acoplamiento a las diferentes zonas corporales y una mejor aplicación en función del objetivo terapéutico y los efectos fisiológicos deseados. Del mismo modo, estos terminales podrán ser mecanizados o no mecanizados en función del fabricante. Nosotros, siguiendo lo mantenido por Mendes (1999), recomendamos el uso de manípulos no mecanizados frente a los mecanizados por el mejor control de la succión y de la fuerza que se imprime sobre el tejido de nuestros pacientes con ellos.

Los equipos de depresoterapia suelen incorporar un *software de programación y de almacenamiento* de datos. Este *software* habitualmente permite, por un lado, el uso de protocolos de

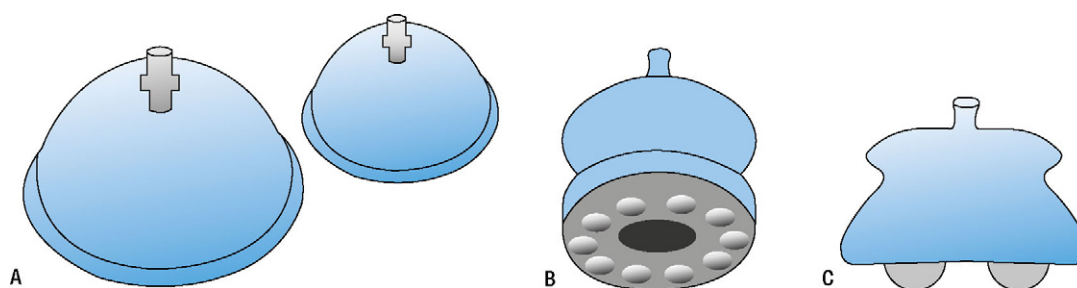


FIGURA 8.1 Representación esquemática de algunos aplicadores. A: campanas de aspiración; B: manipulador de bolas; C: manipulador de rodillos.

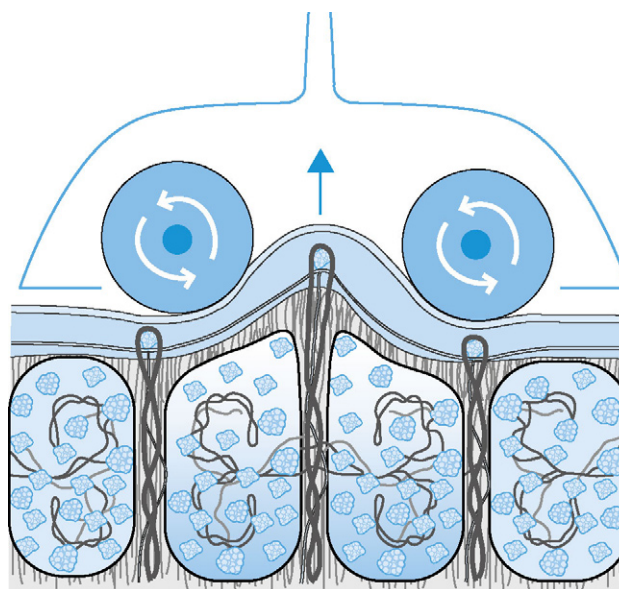


FIGURA 8.2 Representación esquemática del funcionamiento de los sistemas de vacuumterapia.

tratamiento preestablecidos, y por otro, la selección manual por parte del terapeuta del modo de aplicación (continuo o pulsado) y de los distintos parámetros necesarios en función del objetivo perseguido en cada momento del tratamiento.

En ocasiones, los fabricantes recomiendan el uso de una *prenda de licra* durante la sesión de tratamiento con el objetivo de favorecer el deslizamiento de los cabezales, disminuir la fuerza ejercida sobre el pliegue cutáneo y proteger el equipo ante la aspiración de impurezas provenientes de la piel. Otros, sin embargo, permiten una mejor regulación de la succión no siendo necesaria la utilización de este tipo de prendas y solventando el problema del daño al equipo con la incorporación de filtros a distintos niveles.

PRINCIPIOS DE APLICACIÓN

A diferencia del masaje convencional, que actúa desde el exterior hacia el interior, la vacuumterapia realiza un masaje mecánico profundo, desde el interior, de los tejidos blandos (Shack, 2001; Gulec, 2009), dinamizando y flexibilizándolos, separándolos y eliminando las adherencias entre ellos (Vergereau, 1995). Su puesta en práctica consiste en la aplicación mecánica del masaje promovido por Bagot; el pinzado rodado o *palper rouler* (Guitay, 1991; Vergereau, 1995; Frajdenrajch, 2003; Petiot, 2003).

En relación con la *frecuencia de tratamiento* deberemos tener en cuenta algunos factores como la problemática que presenta el paciente, el objetivo terapéutico perseguido, y el tiempo del que disponemos para finalizar el tratamiento completo; esto es, si existe un plazo límite, muy frecuente en fisioterapia estética plástica y reparadora (FEPR). Una vez valorados dichos factores, la frecuencia de aplicación del tratamiento la fijaremos generalmente en dos-tres sesiones semanales, en días no consecutivos preferiblemente, teniendo en cuenta que en condiciones normales los resultados serán mejores cuantas más sesiones reciba nuestro paciente (Adcock, 1998, 2001; Revuz, 2002; Ortonne, 2004). No obstante, el hecho de que la frecuencia de aplicación sea dependiente directamente de la problemática a resolver, hace que esta pauta no sea más que orientativa. Por ello, proponemos al lector varios supuestos para una mejor comprensión:

1. Tratamiento de la celulitis. En este caso, las acciones perseguidas serán principalmente las que recaen sobre el sistema circulatorio, tanto sanguíneo como linfático, sobre el tejido adiposo, y sobre el tejido fibroso de la dermis e hipodermis, principalmente sobre el colágeno. Esta última, la acción sobre el colágeno, es la que determinará en gran medida nuestra pauta terapéutica (v. «Evidencia científica de la depresoterapia»), obligándonos a espaciar las sesiones (dos-tres por semana) y a prolongar la duración del tratamiento.
2. Tratamiento de la flacidez cutánea. La acción que perseguiremos en este caso será principalmente la acción sobre el colágeno; por tanto, la pauta que deberá seguirse será similar a la del supuesto anterior.
3. Tratamiento de las insuficiencias vasculares. En este ejemplo incluimos los edemas de origen tanto venoso, como arterial y linfático, ya que, ante el fracaso de uno de estos sistemas todos los demás se verán alterados, antes o después, debido a lo que conocemos como microcosmos circulatorio, no existiendo realmente en la práctica edemas debidos exclusivamente a un componente. En este caso, la pauta terapéutica podrá ser incluso diaria, pudiendo espaciarse las sesiones posteriormente a dos o tres semanales cuando el sistema vascular del paciente recobre mayor funcionalidad.
4. Tratamiento de patologías del sistema musculoesquelético. En este ejemplo incluimos no sólo el tratamiento del edema secundario a cualquier lesión del aparato locomotor sino también el tratamiento de la patología en sí. Patologías como tendinitis, tenosinovitis, entesitis, algias y edemas varios, contracturas musculares, roturas fibrilares, procesos fibróticos, etc., son susceptibles de tratamiento desde la vacuumterapia. En este caso, en función del problema abordado la acción perseguida será, por ejemplo, el drenaje, el desfibrosamiento y/o la relajación, constituyendo la aplicación de depresoterapia una terapéutica más dentro del tratamiento global de fisioterapia. Por tanto, la pauta a seguir irá en función del tratamiento fisioterapéutico propuesto.

Con respecto a la *duración de la sesión*, ésta dependerá del tipo de tratamiento que se realice, del objetivo terapéutico que quiera alcanzarse, y de la extensión de la zona corporal que se aborde. Por tanto, no tendrá la misma duración una sesión de tratamiento con vacuumterapia en el caso de una tendinitis, que en un drenaje de miembros inferiores, o una sesión encaminada a reducir una acumulación de grasa localizada, que una sesión de modelado corporal en la que deberemos abarcar toda la silueta.

En función de estos aspectos, podemos afirmar que, como pauta general, las sesiones de tratamiento podrán oscilar entre los 40-45 minutos y los 60-75 minutos en aquellos tratamientos que aborden grandes extensiones y los 10-15 minutos en aquellas aplicaciones sobre pequeñas zonas corporales y en las que, habitualmente, la depresoterapia constituye una técnica coadyuvante dentro del tratamiento global de fisioterapia.

El *número de sesiones* necesarias para obtener los resultados deseados es un aspecto difícil de definir, pues dependerá de numerosos factores. En primer lugar, debemos tener en todo momento presente que la depresoterapia no es una técnica milagrosa, por tanto, deberemos ser cuidadosos con lo que aseguramos a nuestros pacientes aunque, sin duda, será la práctica

nuestra mejor ayuda a la hora de asesorar e informar a éstos sobre la duración del tratamiento, principalmente cuando nos situemos en la práctica estética.

En segundo lugar, debemos tener en cuenta que la eficacia y el éxito de nuestro tratamiento en ocasiones no sólo dependen de nuestro trabajo sino que existen factores que interfieren en él. Entre estos factores podemos destacar como los más frecuentes el uso de tratamientos combinados, los hábitos y estilo de vida (dieta, hábitos tóxicos, ejercicio físico, etc.), edad, estado inicial de los tejidos y los cambios o el estado hormonal del paciente (la menopausia y la perimenopausia son estados hormonales que generalmente enlentecen la aparición de los resultados principalmente en fisioterapia estética, plástica y reparadora).

De manera general, podemos afirmar que la mayoría de los tratamientos en los que la depresoterapia sea la técnica de elección o principal oscilarán entre 15 y 20 sesiones en función del objetivo propuesto y la extensión de la zona que se trate. Si bien es cierto que en ocasiones se aprecian cambios antes, la práctica clínica nos dice que para que éstos se mantengan en el tiempo, no se vuelva a la situación inicial de inmediato, y obtengamos los mejores resultados posibles, es necesario alcanzar este número mayor de sesiones.

El *sentido de aplicación* del movimiento y la *intensidad de la succión* dependerán de la acción fisiológica que persigamos. Sin embargo, en relación con el sentido de aplicación, podemos tomar como norma general que será aquél que favorezca el retorno venoso, en la dirección de las fibras musculares y respetando las líneas de tensión de la piel (en contra de la flacidez y descolgamiento de los tejidos).

En cuanto a la intensidad de la succión, siempre tendremos presentes las siguientes premisas; a pesar de que en muchas ocasiones el masaje realizado con el depresor deba ser vigoroso, *nunca* deberemos *provocar dolor ni eritema estable, petequias o hematomas*, aunque sí, una hipere-mia, que deberá ser reversible. En todo momento la *intensidad de la succión* deberá ser ajustada a la *sensibilidad de cada paciente* (Ersek, 1997; Chang, 1998; Latrenta, 2001; Revuz, 2002; Gulec, 2009) y de la zona sobre la que nos encontremos, respetando siempre el principio de no dolor.

Finalmente, haremos referencia al *uso simultáneo de cremas, aceites y otras lociones*. Salvo en los casos en los que el fabricante recomiende el uso de éstas y sea imposible la aplicación de la técnica sin ellas, la práctica clínica habitual nos indica que suelen dificultar el deslizamiento de los cabezales pudiendo pellizcar la zona y provocar daños tisulares. Por tanto, desaconsejamos su uso salvo indicación expresa del fabricante. En caso de que algún paciente desee usar algún tipo de crema antiinflamatoria, anticelulítica, reafirmante, hidratante, etc., recomendamos su aplicación inmediatamente después de la sesión de tratamiento, momento en que el tejido está más receptivo a este tipo de cuidados y la penetración del producto aumenta.

EVIDENCIA CIENTÍFICA DE LA DEPRESOTERAPIA

Como ya afirmábamos al inicio de este capítulo, son pocos y de escasa validez los estudios científicos en este ámbito; sin embargo, hemos recopilado algunos trabajos que nos ayudarán a entender ciertos aspectos en relación con la depresoterapia, a pesar de que se centran, principalmente, en la investigación de fenómenos estéticos.

Fodor (1997, 1998) y Watson (1999) observaron cómo la depresoterapia era útil tanto durante como después de una liposucción. Del mismo modo, comprobaron como su aplicación favorecía la redistribución de la grasa tras injerto autólogo de ésta.

Por otro lado, estos mismos autores evaluaron los cambios vasculares secundarios a la aplicación de vacuumterapia observando (Watson, 1999):

- Un incremento de la perfusión sanguínea cutánea cuatro-cinco veces mayor que la media basal que se mantuvo durante más de 6 horas tras concluir el tratamiento, alcanzando el pico de perfusión máxima entre los 6 y 10 minutos tras finalizar éste.
- Un incremento de la velocidad del flujo venoso en las extremidades inferiores en el sistema venoso superficial dos-tres veces mayor que la media basal. Simultáneamente, el flujo

venoso en el sistema venoso profundo decreció. Estos efectos, al igual que los anteriores, se mantuvieron durante al menos un período de 6 horas.

- Un incremento del flujo linfático, que llegó a ser tres veces mayor que el existente en el miembro inferior contralateral (no tratado). Este aumento comenzó a apreciarse pasados 30 minutos tras finalizar la sesión de tratamiento. El máximo cambio se produjo a las 3 horas de concluir ésta.

Chang et al (1998) realizaron un estudio en 85 mujeres desarrollando un tratamiento de 7 semanas de duración sobre 46 de ellas, y de 14 semanas sobre 39, con una pauta de una o dos sesiones semanales en ambos grupos. Entre los resultados de su investigación destacan los siguientes:

- Globalmente se detectó una reducción de los contornos corporales y del peso en siete sesiones, disminución que fue mayor tras la sesión 14.
- Se observó cómo, entre los pacientes que aumentaron de peso durante el tratamiento, el 50% en el primer grupo y el 75% en el segundo redujeron aun así su volumen corporal, manteniendo los autores que aunque parece existir una correlación entre la disminución del volumen y la pérdida de peso, el primer fenómeno no tiene que ir obligatoriamente acompañado del segundo, aspecto éste también observado por otros autores (Ersek, 1997; Tricás Moreno, 2007; Gulec, 2009).

Entre sus conclusiones estos autores destacan cómo para obtener los máximos beneficios del tratamiento, éste debería ir acompañado de medidas dietéticas y entrenamiento físico.

Adcock et al (1998, 2001) analizaron los efectos de la aplicación de vacuumterapia sobre 12 cerdos divididos en tres grupos de estudio; cada uno de los cuales recibió 4, 10, o 20 sesiones de tratamiento, una o dos veces por semana, actuando el lado contralateral como control. En este estudio se observó:

- Una hiperemia cutánea durante cada sesión de tratamiento que desapareció a los 30 minutos tras concluir ésta. A pesar de ello, no se registraron cambios significativos en la temperatura de la piel.
- No hubo cambios significativos en los niveles séricos de electrolitos, proteínas, triglicéridos o colesterol. Los niveles de creatinina no sufrieron cambio alguno, lo que sugiere la ausencia de rotura de tejido adiposo según los autores.
- Se detectaron elevaciones intermitentes de algunos marcadores de la función hepática que los autores asociaron al uso de anestesia y no al tratamiento. Los niveles de bilirrubina se mantuvieron estables.
- En el examen de la orina no se detectaron restos lipídicos, ni elementos resultantes de rotura tisular, cristales o globinas.
- El examen histológico de la epidermis y de la dermis no reveló evidencias de traumatismos ni de daño tisular. No se observaron signos de proliferación de tejido epidérmico, fibroblastos o células endoteliales, ni aparecieron signos inflamatorios. La arquitectura de la epidermis se mantuvo constante y no se observó aumento de tejido vascular.
- El examen histológico del tejido celular subcutáneo (TCS) y muscular reveló cambios importantes en cuanto a la arquitectura tisular. Aunque a corto plazo (cuatro sesiones), no se observaron cambios significativos en dichos tejidos, a medio y largo plazo (10-20 sesiones) sí se evidenciaron cambios histológicos importantes como los que destacamos a continuación:
 - Se observó la distorsión de la membrana adipocitaria (ocasionalmente, su rotura) y la deformación de dicha célula. Estos cambios fueron mayores a mayor profundidad, cuanto más cercano estuviese el TCS a la interfaz fascia-músculo esquelético.
 - Se observó un aumento de las fibras de colágeno que, al igual que en el caso anterior, fue mayor a una profundidad superior. La disposición de estas nuevas fibras fue paralela a la

superficie cutánea, pareciendo ser responsable de la disminución del grado de celulitis con el tratamiento, según mantienen los autores.

- Se observó una relación directa entre el número de sesiones recibidas y los cambios mencionados, que fueron mucho más pronunciados en los sujetos que recibieron 20 sesiones; en ellos se constató la aparición de lo que los autores denominaron *dense longitudinal collagen bands*¹ y cifrándose este aumento de colágeno entre un 27 y un 130%.
- Se observaron cambios en la fascia musculoesquelética apareciendo ésta más gruesa y separada del tejido muscular, sin que se encontraran cambios en este último tejido.
- No se observó proliferación alguna de fibroblastos ni de nuevo tejido vascular. Tampoco se observaron cambios en la elastina ni en el grosor del TCS.

Posteriormente, en un segundo estudio, estos autores (Adcock et al, 2001) analizaron la fuerza generada en el interior de los tejidos con el uso del dispositivo Endermology®. De este análisis se desprende la existencia de tres fuerzas que intervienen sobre la fuerza resultante experimentada en el interior del tejido: la propia fuerza de succión, la fuerza ejercida por los rodillos mecanizados y la fuerza derivada de las distintas maniobras de aplicación. Los autores analizaron también en qué medida actuaba cada una de ellas, concluyendo que la derivada de la maniobra de aplicación era la responsable de la mayor fuerza experimentada en el interior del tejido, mientras que la succión y los rodillos contribuían tan sólo en 2-8 y 1-2 mmHg, respectivamente. Se observó incluso que, aun existiendo un aumento progresivo de la fuerza de succión, éste no se traducía en un incremento de la tensión experimentada en el interior del tejido ocurriendo en ocasiones el fenómeno contrario, una disminución de la segunda tras un aumento de la primera, por lo que los autores afirmaron que el éxito de este tipo de tratamiento es altamente dependiente del terapeuta que lo aplique, al igual que mantienen otros autores (Ersek, 1997; Mendes, 1999; Shack, 2001; Tricás Moreno, 2007).

Del análisis de la fuerza experimentada en el tejido con cada una de las distintas maniobras realizadas, se observó cómo cada una producía un patrón de fuerza en el tejido propio e independiente de la succión aplicada.

Finalmente, tras la aplicación de las distintas maniobras, a medio plazo se registró, en el tejido con mayor grosor, un descenso en la tensión experimentada en el interior de éste, equiparándose a la sufrida por un tejido más delgado antes de ser sometido a tratamiento alguno, lo que los autores atribuyeron al aumento del colágeno. En comparación con este fenómeno, se observó cómo, en el tejido más delgado, no se producía un descenso significativo en la tensión a lo largo del tratamiento, lo que explica, según los autores, por qué estos tratamientos alcanzan mejores resultados en tejidos con mayor grosor.

Benelli (1999) obtuvo resultados similares a los encontrados por Adcock et al. Analizando los niveles plasmáticos de glucosa, colesterol total, HDL y LDL, triglicéridos, ácido úrico, potasio, calcio, transaminasas, SGOT y SGPT, glutamyltranspeptidasa, lacticodeshidrogenasa, creatinfosfoquinasa (CPK), tirotrópina (TSH) y estradiol, sólo se encontraron variaciones significativas en la concentración de este último parámetro. Así, se observó un descenso de los niveles de estradiol durante la sesión de tratamiento seguido, tras la finalización de ésta, de un aumento con respecto a la medida basal. Estos cambios en la concentración de estradiol sanguíneo podrían explicar, según refiere el autor, fenómenos observados durante los tratamientos tales como el regreso de la menstruación en pacientes con amenorrea o la regulación del ciclo menstrual, el efecto trófico sobre la piel y el tejido conectivo subcutáneo, y el aumento de las fibras colágenas identificado en los estudios de Adcock et al.

En el año 2002, Revuz et al (2002), tras aplicar un tratamiento facial mediante vacuumterapia a 24 mujeres, observaron una mayor densidad y compactación del colágeno de la dermis papilar y en la zona alta de la reticular, un incremento en la densidad y diámetro de las fibras elásticas en la unión dermohipodérmica, y una mejor organización de las existentes en la dermis reticular.

¹ Bandas longitudinales densas de colágeno.

Finalmente, Ortonne et al (2004) desarrollaron un estudio sobre 30 voluntarias con celulitis grado II o más en la escala de Nurnberger y Muller (1978), agrupadas en tres grupos con el objetivo de conocer la eficacia del tratamiento y la permanencia en el tiempo de los resultados. Para ello, todos los grupos recibieron un tratamiento común durante 8 semanas a razón de dos sesiones semanales, para posteriormente hacer un seguimiento de ellos. Las evaluaciones se llevaron a cabo tras concluir el tratamiento y a los 6 meses tras la finalización de éste habiendo recibido ninguna, una o dos sesiones mensuales según el grupo.

Durante el tratamiento inicial se observó una disminución estadísticamente significativa de los perímetros y de los pliegues cutáneos del muslo. La reducción de los perímetros se mantuvo durante los 6 meses siguientes en el grupo que no recibió tratamiento alguno y experimentó una mejora del 43% en el que recibió dos sesiones como mantenimiento mensual. La evaluación mediante ecografía mostró la alineación de la interfaz dermohipodérmica con una disminución significativa de la longitud de ésta; los resultados se mantuvieron tras 6 meses en el grupo que no recibió ninguna sesión de tratamiento y mejoraron en un 50% en el que recibió dos sesiones mensuales de mantenimiento, ocurriendo de forma similar con las irregularidades cutáneas propias de la celulitis.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS

De los estudios anteriores se desprenden los efectos fisiológicos de la depresoterapia, a saber:

- Mejora y activación de la circulación sanguínea cutánea y subcutánea, así como aceleración del flujo sanguíneo que favorece la oxigenación de los tejidos, el intercambio celular y la eliminación de los detritus y residuos metabólicos (Watson, 1999).
- Hiperemia superficial sin un aumento de temperatura asociado en la superficie cutánea, con la consiguiente mejora del metabolismo de la zona (Adcock et al, 1998, 2001).
- Mejora y activación del sistema linfático (Watson, 1999).
- Movilización de la sustancia fundamental o matriz extracelular de la dermis para devolverla a su estado natural (Revuz, 2002).
- Acción desfibrosante y fibrinolítica.
- Flexibilización y liberación de la fascia musculoesquelética: mejoran del metabolismo y el trofismo del músculo esquelético (Adcock et al, 1998, 2001).
- Activación de los fibroblastos: producción de colágeno (Adcock et al, 1998, 2001).

EFFECTOS TERAPÉUTICOS

Las acciones sobre el organismo de la depresoterapia que aquí recogemos son derivadas, la mayoría, de los efectos fisiológicos expuestos en el apartado anterior; sin embargo, existen algunas que no han sido estudiadas y que hemos preferido mantener aquí para que el lector las conozca y pueda someterlas a crítica (éstas aparecen en letra cursiva):

- Drenaje y mejora del sistema venoso.
- Mejora del sistema arterial.
- Mejora del sistema linfático².
- Mejora del tejido cutáneo, subcutáneo, aponeurótico/facial y muscular.
- Flexibilización cutánea y desfibrosamiento de zonas engrosadas o fibróticas.
- Síntesis y reorganización del colágeno y su malla.
- Reducción de volúmenes corporales.

² Esta mejora del sistema linfático no debemos en principio atribuirlo a la mejora de la contractilidad del linfangión, ya que para ello es necesaria la aplicación de presiones positivas con una cadencia determinada. Posiblemente, el aumento del flujo linfático se deba a su acción sobre la matriz extracelular que favorece la apertura de las interdigitaciones de los linfáticos iniciales y, por tanto, la entrada de la prelinfa.

- Efecto antienvjecimiento. Se desprende de la mejora del componente vascular sanguíneo y linfático, de la mejora del trofismo tisular y de la proliferación de colágeno.
- Uniformidad del tejido cutáneo y subcutáneo (biomodelado).
- Exfoliación y limpieza de la piel. Tras la realización de los tratamientos se observa una piel más fina y brillante, lo que se atribuye al efecto de *peeling* superficial repetido que la vacuum-terapia tiene sobre la superficie cutánea.
- Efecto reflejo: Acción sobre las dermalgias reflejas descritas por Jarricot (1980). Se produce un efecto antiálgico inmediato sobre el dermatoma y con una acción refleja reguladora sobre los componentes de la misma metámera (miotoma, viscerotoma, osteotoma, etc.).
- Acción antiálgica. Derivada tanto de la acción directa del tratamiento de las dermalgias reflejas como indirecta sobre el sistema neurovegetativo, así como de la acción sobre los sistemas sanguíneo y linfático y la fascia musculoesquelética.
- Acciones relajante y descontracturante derivadas de las acciones anteriores.

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DE LA DEPRESOTERAPIA

En la [tabla 8.1](#) se recogen las principales indicaciones de la depresoterapia derivadas de sus efectos fisiológicos. En relación con éstas hemos preferido diferenciar entre las aplicaciones propias de la práctica habitual de la fisioterapia y las de la fisioterapia estética, plástica y reparadora, en las que su empleo es más frecuente. No obstante, esta diferenciación no posee más que fines didácticos.

TABLA 8.1 Indicaciones de la depresoterapia

Terapia convencional	Práctica estética
Cuadros edematosos	
Tratamientos prequirúrgicos y posquirúrgicos ^a	
Tratamientos preparto y posparto	
Tratamientos relajantes	
Cicatrices	
Linfedemas	Tratamientos antienvjecimiento
Cuadros fibróticos y adherencias	Celulitis
Hematomas	Modelado corporal y facial
Síndrome de piernas cansadas	Reducción de volumen
Disfunción vascular periférica	Flacidez ^b
Tratamientos descontracturantes	Tratamientos preliposucción y posliposucción
Recuperación postesfuerzo	Tratamientos intraliposucción ^c
Algias articulares y musculares	Redistribución de injertos grasos
Lesiones ligamentosas	Estrías
Lesiones tendinosas	Arrugas y líneas de expresión
Lesiones musculares	Doble mentón
Lesiones óseas	Ptosis palpebral
Reflexoterapia	Ptosis del óvalo facial
	Bolsas oculares
	Otros fenómenos estéticos

^aEvitar el tratamiento en las horas previas a la cirugía por el aumento del flujo sanguíneo y linfático.

^bEvitar el trabajo sobre la flacidez con manipuladores mecanizados y pases largos.

^cPráctica no fisioterapéutica.

TABLA 8.2 Contraindicaciones absolutas y relativas de la depresoterapia

Absolutas	Relativas
Cáncer	Fragilidad vascular
Infección generalizada	Varices y varicosidades ^a
Infección en la zona de tratamiento	Terapia anticoagulante
Hipertensión arterial no controlada	Embarazo ^b
Flebitis/tromboflebitis reciente/TVP	Heridas abiertas ^a
Enfermedad inflamatoria aguda	Afecciones dérmicas ^a
Insuficiencia cardíaca	Afecciones tiroideas ^a
Edemas sistémicos	Menstruación ^b
Alergia a los componentes	Diabetes no controlada
	Hernia inguinal o abdominal ^a
	Alteraciones de la sensibilidad

TVP: trombosis venosa profunda.

^aEvitar zona afectada.

^bEvitar maniobras profundas o bruscas sobre el abdomen.

En la [tabla 8.2](#) se recogen las contraindicaciones tanto absolutas como relativas de la depresoterapia. El lector puede observar cómo la mayoría de ellas corresponden a las contraindicaciones propias del drenaje.

TRATAMIENTOS COMBINADOS

La [tabla 8.3](#) recoge algunos de los tratamientos combinados junto con la depresoterapia de más frecuente aplicación clínica. Obsérvese cómo la mayoría de ellos corresponden a la práctica estética por ser su uso en ésta el más frecuente.

PRESOTERAPIA

A continuación abordaremos la aplicación de la presoterapia, presión positiva, con fines terapéuticos, desde la evidencia científica existente, y como herramienta fisioterapéutica que es.

DEFINICIÓN

Lo que conocemos como presoterapia, denominada también *Compresión Neumática Intermittente* (Intermittent Pneumatic Compression, IPC) en la literatura científica, podríamos definirlo como una *técnica instrumental no invasiva* caracterizada por la aplicación, mediante *cámaras inflables*, de una *presión positiva intermitente* sobre uno o varios segmentos corporales con objeto de provocar cambios, principalmente hemodinámicos, en el tejido vascular sanguíneo y linfático.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A pesar de que la idea de aplicar una compresión externa como tratamiento para mejorar el dolor en procesos isquémicos de las extremidades nació a mitad de la década de 1930, de la mano de Landis y Gibbon y de Hermann y Reid, este concepto permaneció latente hasta finales de la década de 1970, cuando se comenzó a recoger la utilidad de la compresión

TABLA 8.3 Tratamientos frecuentes combinados con depresoterapia

Tratamientos combinados con depresoterapia	
Ultrasonoterapia	1 MHz, 3 MHz, 28-38 kHz ^a Ultrasonoforesis
Electroterapia	Antiinflamatoria y antiedematosa Antiálgica Electroestimulación muscular Iontoforesis-Electroforesis (electroporación)
Hipertermia profunda	Diatermias
Magnetoterapia	< 100 Hz y < 100 Gauss
Masoterapia	Antiinflamatoria y antiedematosa Antiálgica Descontracturante y relajante Desfibrosante
Presoterapia	
Mesoterapia ^b	
Ejercicio físico	
Plataformas vibratorias	
Dieta ^b	
Cirugías ^b	Traumatológicas y ortopédicas Plásticas, estéticas y/o reparadoras

^aRango de frecuencias empleadas en ocasiones para el tratamiento del tejido adiposo.

^bTécnicas no fisioterapéuticas.

neumática de tobillos y rodillas para mejorar la perfusión de los miembros inferiores (Delis, 2000, 2005; Labropoulos, 2005). A partir de entonces, se desarrolló una importante acción investigadora hasta hace unos años, cuando la presoterapia parece haber caído en el olvido a pesar de sus grandes beneficios como veremos más adelante.

ELEMENTOS BÁSICOS Y EVOLUCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE COMPRESIÓN NEUMÁTICA INTERMITENTE

De forma genérica, los dispositivos de IPC constan de una consola en la que se incluye un compresor y el *software* propio de cada equipo, de unas cámaras que se insuflarán con el aire proveniente del compresor desarrollando una presión directa sobre el segmento corporal a tratar, y de una serie de válvulas y tubos conectores que unen estas cámaras al compresor.

Las cámaras pueden disponerse de modos distintos, como veremos a continuación, y suelen incluirse dentro de un «todo» en el que se introducirá el segmento corporal que va a tratarse. Lo más habitual es que ese «todo» sea bien una funda similar a una «prenda de ropa» (pantalón, manga, chaqueta, etc.), en función del segmento de tratamiento para el que esté diseñada, o bien una especie de «bota» para los miembros inferiores que suele abarcar el pie y/o la pierna, o de «guante» para los miembros superiores abarcando la mano y en ocasiones el antebrazo. El primer caso, la «prenda de ropa», suele emplearse más frecuentemente en la práctica estética y en el tratamiento de los linfedemas llevándose a cabo su aplicación en decúbito supino. El segundo caso, la «bota» o el «guante», más usual en nuestra práctica terapéutica diaria, se aplica generalmente en sedestación. Este aspecto es importante ya que, en función de la posición que

adopte el paciente durante la aplicación de la IPC, la presión venosa, arterial y linfática, principalmente en los miembros inferiores, objeto del mayor porcentaje de los tratamientos con presoterapia, variará, siendo éste un factor que debe tenerse en cuenta a la hora de determinar las presiones a ejercer.

El funcionamiento de todos los dispositivos de presoterapia es muy simple. El compresor actúa insuflando aire a cada una de las distintas cámaras a través de las válvulas y los tubos conectores de manera que éstas se inflan hasta ejercer una presión previamente determinada sobre la zona corporal donde se encuentran. El llenado de cada una de las cámaras puede ser simultáneo, hoy en desuso como veremos a continuación, o secuencial, en la mayoría de los dispositivos se sigue una progresión distoproximal; esto es, desde el extremo del miembro hasta la raíz de éste.

Los primeros dispositivos de compresión neumática (fig. 8.3A) constaban de una única cámara en la que introducir el miembro que se inflaba imprimiendo una presión constante más o menos controlada a todo el segmento por igual. Posteriormente, se diseñaron los primeros equipos capaces de realizar compresiones intermitentes o rítmicas sobre el segmento corporal seleccionado (fig. 8.3B) y, años más tarde, se desarrollaron mecanismos que ya constaban de diferentes cámaras independientes.

Inicialmente estos mecanismos poseían una única cámara para cada segmento corporal (*monocamerales*) (fig. 8.3C), por ejemplo, una para el pie, una para la pierna y una para el muslo, y su secuencia de inflado era simultánea para todas ellas. La no obtención de buenos resultados con esta aplicación llevó a los investigadores a desarrollar equipos en los que las cámaras se inflaran de modo secuencial, primero una, generalmente la distal, y posteriormente la contigua, de modo que generaran un flujo ascendente y no quedara el contenido sanguíneo atrapado bajo las cámaras. Sin embargo, este sistema tampoco constituyó un gran éxito.

Posteriormente, se desarrollaron sistemas *multicamerales* compuestos por un mayor número de cámaras firmemente unidas entre sí (fig. 8.3D), y no únicamente una por cada segmento corporal. Estos dispositivos permitían, de igual modo, el inflado secuencial de las distintas cámaras favoreciendo la mayor eficacia en los tratamientos. Sin embargo, podemos destacar tres problemas fundamentales que se derivaban de esta aplicación:

1. El hecho de que la aplicación de la presión se realizara bajo las cámaras hinchables y no entre ellas provocaba el fraccionamiento del edema presentando el miembro edematizado un aspecto «en collar de perlas» tras su aplicación (Ferrández, 2001).
2. Al aplicar una fuerza perpendicular al segmento corporal en todos sus puntos, según la ley de Pascal, esta fuerza se distribuye por igual en todos los sentidos y tan sólo una pequeña proporción de los fluidos era enviada en dirección proximal.
3. La compresión aislada de un segmento o cámara puede incluso generar un flujo retrógrado en lugar de favorecer el drenaje del segmento corporal en dirección proximal, favoreciendo por tanto el fracaso venoso.

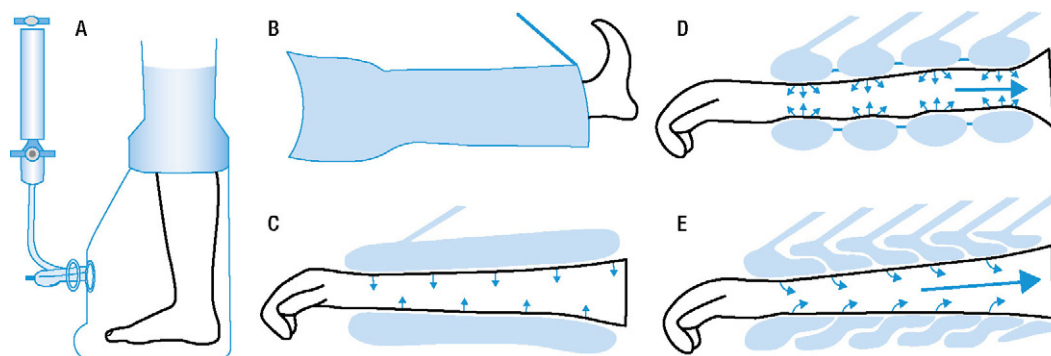


FIGURA 8.3 Evolución de los sistemas de compresión neumática intermitente.

Estos problemas se han ido solucionando en los últimos años con el desarrollo tecnológico que ha permitido la incorporación a los dispositivos de:

- Sistemas *multicamerales solapados* (fig. 8.3E) en los que cada cámara se encuentra superpuesta con la inmediatamente anterior y posterior.
- Secuencias de inflado en las que la cámara distal no pierde la compresión hasta que la proximal esté completamente inflada. De ese modo, se asegura una correcta dirección del flujo y la ausencia de un flujo retrógrado (Yamazaki, 1988).
- Un *gradiente de presión ascendente*, es decir, se emplean presiones mayores cuanto más distal sea la cámara, disminuyendo éstas a medida que ascendemos hacia la raíz del miembro. La incorporación de este gradiente se debe no sólo a la necesidad de generar un flujo ascendente, sino también a la observación de cómo el inflado de una cámara implica el aumento de presión en la anterior (Segers, 2002). Generalmente, una vez que todas las cámaras están infladas con su presión correspondiente se procede a la fase de descompresión, aunque en ocasiones esta secuencia puede verse modificada, como veremos a continuación.

Esta evolución de los sistemas multicamerales ha sido la experimentada por los dispositivos de presoterapia que integran una «prenda de ropa» abarcando una gran extensión corporal. Sin embargo, los sistemas unicamerales o bicamerales que se aplican en las zonas distales de los miembros suelen presentar un diseño de cámaras no solapadas siendo los más empleados en el ámbito terapéutico clásico.

Finalmente, y siguiendo a Ferrández (2001), pasamos a describir los diferentes programas de aplicación posibles. Así pues, podemos diferenciar programas anterógrados y retrógrados atendiendo a la secuencia de inflado sabiendo que, actualmente, son escasos los dispositivos que permiten una secuencia retrógrada a pesar de que su utilidad es, si cabe, mayor que la anterógrada.

Los *programas anterógrados* son aquellos en los que el inflado de las cámaras sigue una secuencia disto-proximal de modo similar a las técnicas clásicas de reabsorción, siendo útiles en el tratamiento de las insuficiencias venosas o arteriales, de los flebedemas y en general, en todos aquellos edemas fácilmente reversibles (Ferrández, 2001). En la figura 8.4 se exponen algunos ejemplos de secuencias anterógradas siguiendo lo establecido por Ferrández (2001) y Yamazaki (1988). Obsérvese cómo en ningún caso se pierde el inflado de la cámara distal hasta que la proximal no ha sido insuflada con objeto de impedir un flujo retrógrado y no aumentar la ineficacia de las válvulas venosas.

Los *programas retrógrados* son aquellos en los que el inflado de las cámaras comienza proximalmente aunque la sucesión de las distintas secuencias de inflado mantiene la orientación centrípeta actuando de modo similar a las maniobras de llamada (Ferrández, 2001). Este abordaje terapéutico sería el de elección en aquellos casos clínicos en los que nos encontremos ante una afectación del sistema linfático empleando, generalmente, presiones menores que en los programas anteriores, como veremos más adelante. En la figura 8.5 se exponen algunos ejemplos de programas retrógrados siguiendo, nuevamente, lo establecido por Ferrández (2001).

LA COMPRESIÓN NEUMÁTICA INTERMITENTE Y EL SISTEMA CIRCULATORIO

Si bien el objetivo principal de la IPC es favorecer el funcionamiento del sistema circulatorio, el mecanismo de acción, los efectos fisiológicos acontecidos, y los principios de aplicación sobre el componente sanguíneo y linfático difieren sustancialmente. Por ello, abordaremos de modo independiente la aplicación de la presoterapia sobre cada uno de ellos.

La compresión neumática intermitente y el sistema venoso y arterial

Mecanismo de acción

Siguiendo lo expuesto por Dai et al (2000), el mecanismo de acción de la presoterapia sobre el componente venoso podríamos resumirlo de la siguiente manera:

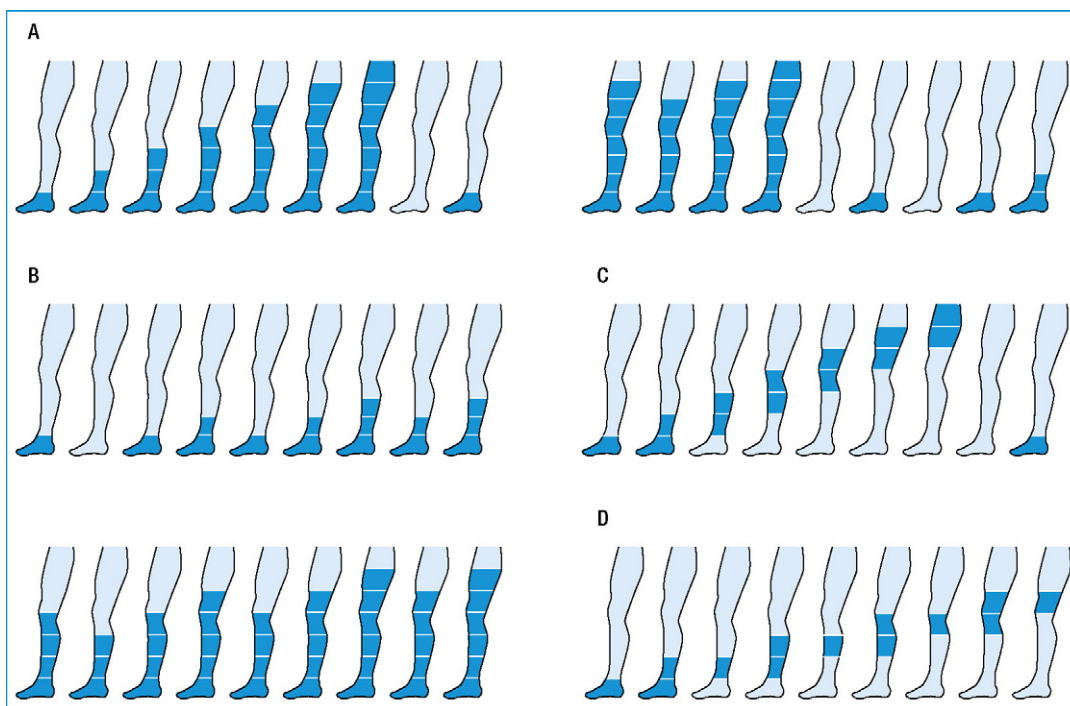


FIGURA 8.4 Ejemplos de programas anterógrados. A: secuencia anterógrada clásica; B: secuencia anterógrada peristáltica; C: secuencia anterógrada ondulatoria; D: secuencia anterógrada de deslizamiento.

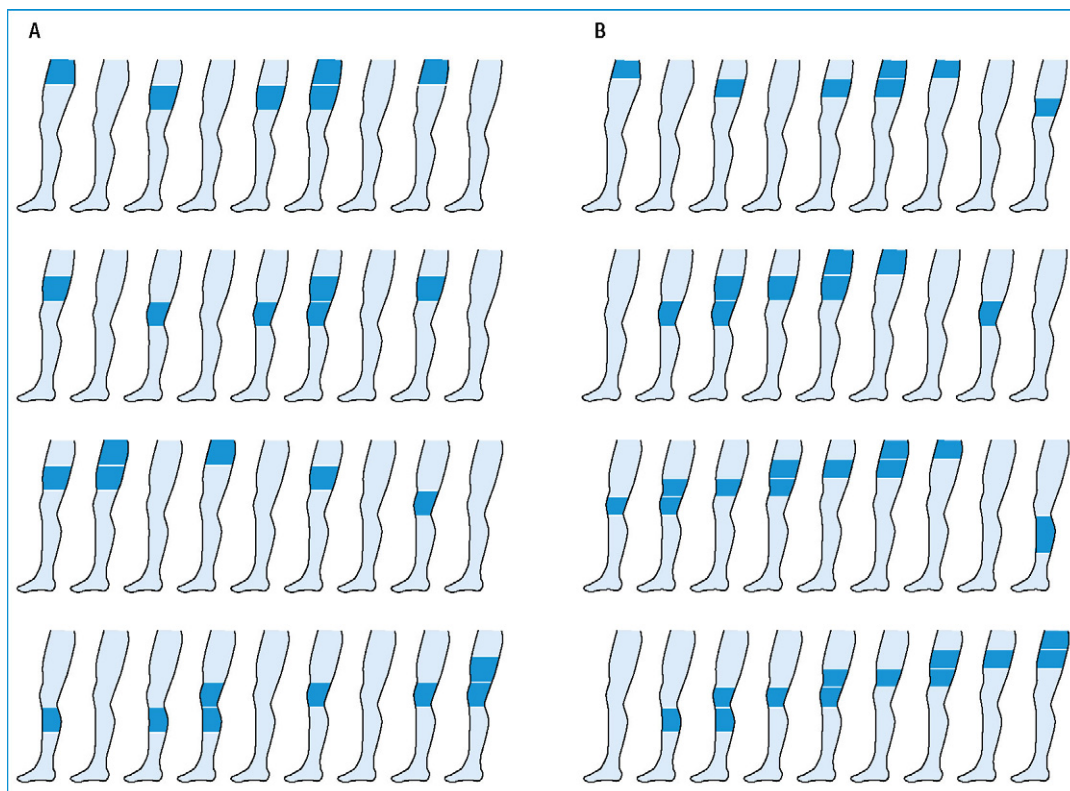


FIGURA 8.5 Ejemplos de programas retrógrados. A: secuencia retrógrada con llamada; B: secuencia retrógrada sin llamada.

- Se produce un período de gran flujo venoso durante la compresión, seguido de un período de flujo mínimo, cercano a cero, inmediatamente posterior a ésta y durante la fase de relleno.
- Los vasos proximales a la zona de compresión experimentan un repentino aumento del flujo con cada compresión junto con una ligera dilatación debido al aumento de su presión interna.
- Los vasos inmediatamente por debajo a la zona de compresión experimentan un colapso parcial secundario a la compresión. Secundariamente a éste se produce un aumento del flujo venoso, de menor cuantía que en los vasos proximales, y un importante aumento de la velocidad de éste.
- En todos los casos, el flujo venoso es mínimo, incluso cercano a cero, durante la fase de relleno, mientras que durante la compresión se experimenta una elevación de éste.

Sobre el componente arterial el mecanismo de acción es contrario, es decir, es durante la fase de descompresión cuando el flujo arterial aumenta. Como mantiene Delis (2005), la mejora del *inflow* arterial experimentada inmediatamente a la aplicación de la compresión se debe al colapso del componente venoso, y no arterial, que eyecta el contenido sanguíneo en dirección proximal provocando la disminución transitoria de la presión venosa y, por tanto, obligando al relleno venoso con el contenido proveniente del sistema arterial.

Así pues, este aumento del flujo arterial se produce a pesar de que las presiones aplicadas no sean suficientes como para comprimir las arterias, ya que si, por ejemplo, la presión arterial sistólica en la rodilla y en sedestación es, al menos, de 170 mmHg, las presiones aplicadas con la compresión neumática oscilarán entre los 60 y los 140 mmHg, no siendo suficientes para actuar sobre el sistema arterial (Delis, 2000), más aún si tenemos en cuenta el fenómeno de dispersión de la fuerza aplicada que explicaremos posteriormente.

Por tanto, se produce una mejora del flujo arterial secundariamente al tratamiento con IPC que provoca una hiperemia sin necesidad de una isquemia previa, ya que, no es necesaria la oclusión del sistema arterial para obtener dicha respuesta, actuando la IPC de modo similar a la contracción muscular, como sostienen distintos autores (Van Bemmelen, 1994; Delis, 2000, 2001; Morris, 2004; Labropoulos 2005).

Como nos propone Dai (2000), este aumento del flujo circulatorio parece estar relacionado con los mecanismos hemodinámicos que regulan la actividad trombogénica y fibrinolítica, así como con el tono vasomotor del endotelio vascular, siendo, entre otros factores, las fuerzas experimentadas por éste durante los cambios de flujo las responsables de estas modificaciones hemodinámicas. Dichas fuerzas son:

1. Las fuerzas de cizallamiento (*shear stress*) experimentadas por el endotelio vascular secundarias al cambio experimentado en el flujo sanguíneo, y al colapso del vaso durante la compresión.
2. La tensión experimentada por la pared del vaso sanguíneo (*cyclic strain*) que se produce en los vasos situados inmediatamente por debajo de la compresión, mientras que los situados inmediatamente por encima de ésta sufren una dilatación.

Ambas fuerzas parecen actuar favoreciendo la liberación de TPA³ y la expresión de su gen, uno de los más importantes del sistema fibrinolítico, y regulando la expresión de la enzima eNOS⁴, que participa en la síntesis de ácido nítrico, potente vasodilatador e inhibidor de la agregación plaquetaria.

³ TPA (activador tisular del plasminógeno): se difunde desde las células endoteliales y convierte al plasminógeno, absorbido en el coágulo de fibrina, en plasmina. La plasmina degrada entonces al polímero de fibrina en fragmentos que son eliminados por los monocitos macrófagos.

⁴ eNOS (óxido nítrico sintasa endotelial): la eNOS actúa como enzima en la obtención de óxido nítrico a partir de la arginina. Dicho óxido nítrico es un potente vasodilatador e inhibidor de la agregación plaquetaria.

No obstante, otros autores (Christen, 1997; Delis, 2000) indican que el efecto antitrombótico observado secundario a la IPC parece deberse directamente al aumento del flujo venoso y de la velocidad de pico que actúan «vacando» la luz del vaso de los factores de la coagulación, y no a los factores hemodinámicos mencionados al no encontrar cambios significativos en el TPA² y el PAI-1⁵ antigénicos.

En relación con el aumento del flujo arterial y siguiendo a Delis (2000, 2005), éste parece estar relacionado con:

1. El aumento del gradiente de presión arteriovenosa. La presión ejercida por la IPC durante el inflado de la cámara produce el colapso de las estructuras venosas y la eyección del volumen sanguíneo previamente contenido en ellas provocando su vaciamiento y, por tanto, una disminución importante de la presión en el interior del vaso, que se traduce en un importante aumento del gradiente de presión arteriovenosa que favorece el flujo de sangre del sistema arterial (*inflow*) al sistema venoso con el objetivo de volver a llenar estos vasos (Delis, 2000, 2005; Morris, 2004; Labropoulos, 2005). No obstante, algunos autores (Van Bemmelen, 1994; Morris, 2004) mantienen cómo este aumento del gradiente arteriovenoso es dependiente de la posición del sujeto. Van Bemmelen (1994) explica este hecho de la siguiente manera: cuando el paciente se encuentra en posición horizontal, la evacuación del componente sanguíneo venoso produce mínimos cambios en la presión venosa, pues ésta es, de por sí, mínima en decúbito, no produciendo grandes cambios en dicho gradiente.
2. La liberación por parte del endotelio vascular de sustancias vasodilatadoras en respuesta a las fuerzas de cizallamiento que disminuyen la resistencia vascular periférica. La disminución de la resistencia periférica está directamente relacionada con la liberación de óxido nítrico secundaria a las fuerzas de cizallamiento (*shear stress*) y la tensión experimentada por la pared del vaso (*cyclic strain*). Este óxido nítrico difunde localmente hasta alcanzar el sistema arterial y, debido a sus propiedades vasodilatadoras, mejora el flujo arterial y disminuye la resistencia a éste. Sin embargo, algunos autores (Delis, 2000; Morris, 2004) sostienen que dicho óxido nítrico tiene una vida demasiado corta y que únicamente produce una hiperemia que se mantiene en torno a los 20-30 s y sugiriendo que deben existir otras sustancias, como las prostaciclina endoteliales, con una vida más larga, que estén relacionadas también con este fenómeno.
3. La suspensión transitoria del reflejo arteriovenoso (VAR). Este fenómeno vasoconstrictor está basado en una acción simpática refleja local por la que, al aumentar la presión venosa, el axón simpático actúa sobre la musculatura lisa precapilar aumentando su contracción y, por tanto, incrementando secundariamente la resistencia al flujo arterial (Delis, 2000, 2005). Al aplicar la compresión durante el tratamiento con IPC y disminuir, como ya vimos, la presión venosa, los barorreceptores del terminal venoso cesan su actividad temporalmente hasta que se vuelva a producir el llenado de los vasos. Durante este período en el que los barorreceptores dejan de estar estimulados por las altas presiones, secundariamente cesa la actividad simpática sobre el sistema precapilar arterial disminuyendo el tono vasoconstrictor de éste (Morris, 2004). Aun así, existen estudios (Ireland, 1983) que han encontrado este VAR presente durante los ciclos de compresión-relajación venosa fisiológica, por lo que sostienen que la aparición de esta hiperemia no se debe a la suspensión de dicho reflejo, postulando una última teoría.
4. Esta última teoría sugiere un mecanismo miogénico implicado en este fenómeno regulando una respuesta vascular que ocurre fundamentalmente en las arteriolas. En éstas, cuando la presión intravascular se incrementa, aumenta la contracción del vaso y si esta presión disminuye, el vaso se dilata independientemente de las influencias nerviosas (Morris, 2004).

Los distintos estudios sitúan este incremento del flujo arterial entre un 20 y un 400% en función del modo de compresión, la posición y el estado vascular del paciente. Por todo ello,

⁵ PAI-1 (Inhibidor del activador del plasminógeno).

este procedimiento se considera de elección en el tratamiento de la claudicación intermitente entre otras patologías (Van Bemmelen, 1994; Delis 2000, 2001, 2005).

Algunos autores (Van Bemmelen, 1994; Delis, 2005) sugieren que el estado de mejora del flujo arterial acumulado durante los tratamientos con IPC favorece la aparición de arterias colaterales, atenuando así la resistencia vascular periférica debida principalmente al estado arteriosclerótico de los vasos, lo que vuelve a ser de gran importancia en el tratamiento de problemas o disfunciones arteriales periféricas como, por ejemplo, la claudicación intermitente.

Aunque se desconocen con exactitud los fenómenos que desencadenan la formación de estas arterias colaterales, este fenómeno parece estar relacionado con el aumento del gradiente de presión, el aumento en el volumen y en la velocidad del flujo arterial, la disminución del tono vasoconstrictor, y la acumulación de metabolitos en el segmento distal al ocluido (Van Bemmelen, 1994).

Principios de aplicación

La escasez de estudios científicos y la gran variabilidad de metodologías aplicadas de los existentes dificultan el análisis y el establecimiento de parámetros concretos para la aplicación de IPC. No obstante, intentaremos establecer unas pautas generales de trabajo que faciliten su puesta en práctica por parte del fisioterapeuta responsable de aplicar este tipo de procedimiento terapéutico.

Presiones ejercidas

Un primer aspecto que debe tenerse en cuenta durante la aplicación de presoterapia, a la hora de establecer las presiones de trabajo, tal y como ya hemos ido referenciando a lo largo del capítulo, será la posición del paciente, ya que ésta determina la presión existente en el sistema venoso de la que dependerán, en último término, las presiones necesarias para la eyección del componente sanguíneo presente en él. Por ejemplo, en un hombre de estatura media en sedestación, la presión venosa media en el pie es aproximadamente de 60 mmHg, mientras que en la pantorrilla será algo menor. En bipedestación éstas serán mayores (90 mmHg en el pie) mientras que, en decúbito supino, serán mucho más pequeñas (no por encima de 20 mmHg) como consecuencia de encontrarse los miembros inferiores aproximadamente al mismo nivel que el corazón (Delis, 2000; Segers, 2002; Labropoulos 2005). Por tanto, serán necesarias presiones mayores cuando empleemos dispositivos de aplicación con el paciente en sedestación que cuando empleemos dispositivos de aplicación con el sujeto en decúbito.

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta para determinar las presiones de trabajo es la disipación de la presión ejercida a través de los tejidos. Siguiendo a Delis (2000), parte de la presión ejercida se disipa en las estructuras anteriores al vaso (piel, tejido celular subcutáneo, grasa, músculo, etc.) siendo aproximadamente el 50% de la energía la que se pierde en este proceso. Ésta podría ser una de las razones por las que los distintos estudios emplean presiones superiores a las existentes en los vasos venosos para alcanzar su colapso. Este mismo autor destaca, en referencia a este aspecto, cómo la contracción de la musculatura de la pantorrilla, principal mecanismo de bomba venosa a este nivel, desarrolla presiones intramusculares de aproximadamente 107 mmHg, presión mayor que la existente en el interior del componente venoso.

Es importante conocer, llegados a este punto, cómo la mayoría de los estudios existentes en relación con la acción de la IPC sobre el sistema venoso y arterial se han realizado en sedestación, empleando bien dispositivos unicamerales o monocamerales sobre el pie o la pierna, bien dispositivos bicamerales con cámaras no solapadas que actúan sobre ambas estructuras. De los estudios existentes podemos extraer las siguientes conclusiones:

- Las tres aplicaciones analizadas son eficaces en la mejora del componente venoso y arterial. Sin embargo, entre las tres aplicaciones analizadas siempre se presenta más eficaz hemodinámicamente la aplicación bicameral, seguida de la aplicación monocameral de la pantorrilla.

Este hecho parece estar relacionado con la capacidad y la acción de las bombas venosas de las estructuras implicadas (pie y pierna). Mientras que el plexo venoso plantar tiene una capacidad de entre 20 y 30 ml, la pantorrilla posee una capacidad de entre 70 y 100 ml. Así, durante la utilización de los sistemas bicamerales, los volúmenes eyectados son mayores seguidos de la compresión monocameral de la pierna (Delis, 2000).

- Un ejemplo de esto es el estudio de Delis (2000) que muestra cómo:
 - La compresión aislada del pie en individuos sanos genera sobre el sistema arterial incrementos de la velocidad media y del volumen medio de flujo aproximadamente iguales al doble de la media basal, mientras que la compresión aplicada sobre el pie y la pierna alcanza valores entre cuatro y cinco veces la media en reposo.
 - La compresión aislada del pie genera, sobre el sistema venoso, cambios en la velocidad de pico, la velocidad media o el volumen medio de flujo de, al menos, tres veces la media basal, obteniéndose, mediante la compresión conjunta del pie y la pierna, velocidades de pico hasta 20 veces mayores que las registradas en reposo, velocidades medias entre ocho y nueve veces la media basal, y un flujo ocho veces mayor que en el estado inicial.
- En posición de sedestación, las presiones de trabajo idóneas para la mejora tanto del sistema venoso como arterial, dado que la mejora del segundo es resultado de los cambios experimentados por el primero, oscilarán entre los 120 y los 80 mmHg, teniendo en cuenta que las presiones máximas se sitúan distalmente (Delis, 2000).
- En decúbito supino, los escasos estudios existentes nos arrojan la utilización de presiones mucho menores, alrededor de los 60-30 mmHg, para alcanzar resultados óptimos y no provocar daños al sistema linfático (Van Bemmelen, 1994; Segers, 2002; Morris, 2004).

Deseamos destacar, por último cómo, en el caso de los dispositivos multicamerales con cámaras solapadas, se ha observado una interacción mecánica entre ellas, de manera que se produce un aumento de presión en las cámaras distales cuando se produce el inflado de las distintas cámaras proximales. Este aumento puede oscilar entre un 40 y un 80%, con presiones comprendidas entre los 30 y los 100 mmHg. Este aspecto debe ser tenido en cuenta a la hora de establecer las presiones de salida y justifica una vez más el uso del gradiente de presión ascendente (Segers, 2002).

Hasta ahora, únicamente hemos abordado las presiones de trabajo para actuar sobre los componentes venosos y arterial⁶, sin embargo, una de las aplicaciones más frecuentes en nuestro campo de la IPC recae sobre el componente linfático y la reducción de los edemas, que analizaremos más adelante.

Ciclos de compresión/descompresión

En primer lugar, deseamos destacar cómo son preferibles compresiones de corta duración frente a las de larga duración para alcanzar una mejora del flujo sanguíneo. Como señala Van Bemmelen (1994), son los cortos períodos de compresión los que permiten un tiempo suficiente para que se experimente el aumento del flujo sanguíneo.

En segundo lugar, autores como Delis (2000) han estudiado la influencia de los ciclos de compresión/descompresión concluyendo cómo, el uso de ciclos de tres o cuatro compresiones por minuto (no existen grandes diferencias entre ellos) es más eficaz que los ciclos de una o dos compresiones por minuto. Según el autor, este hecho parece estar relacionado con el tiempo de relleno venoso, que, a su vez, parece estar relacionado con la eyección realizada previamente. Si empleamos una frecuencia de dos impulsos/minuto el tiempo de llenado es de aproximadamente 26 s, por lo que el sistema venoso tiene tiempo de llenarse por completo

⁶ Una fórmula empleada habitualmente para determinar la presión máxima que debe ejercerse durante el tratamiento con IPC, aunque no la más correcta a pesar de que nos pueda servir de modo orientativo, es tomar como referencia la presión arterial diastólica y trabajar ligeramente por debajo de su valor.

alcanzando presiones máximas elevadas y dificultando el vaciado completo en la próxima compresión, por lo que la presión mínima alcanzada también será mayor. Sin embargo, si empleamos ciclos más cortos, preferiblemente ciclos de tres contracciones (4 s de compresión/16 s de descompresión), el tiempo de relleno se verá reducido, no dará tiempo al llenado completo de los vasos, y se podrán alcanzar presiones mínimas iguales o cercanas al cero favoreciendo, por tanto, aún más la mejora del sistema arterial.

Autores como Morris (2004) o Van Bemmelen (1994) suscriben las afirmaciones hechas por Delis, manteniendo que son necesarias fases de compresión cortas en comparación con las fases de descompresión con objeto de permitir la fase de relleno venoso y no provocar, mediante la compresión mantenida, la elevación de la presión venosa, impidiendo por tanto el flujo sanguíneo. Sólo así se alcanzará una mejor y mayor hiperemia.

No obstante, una vez más nos encontramos con el hándicap de que no existen estudios con dispositivos multicamerales ni con pacientes en decúbito, por lo que no podemos establecer una pauta al respecto para estos supuestos.

Presencia de *delay* en los sistemas bicamerales o multicamerales

La presencia de un período de *delay*⁷ se fundamenta en el hecho de que la presión venosa en las zonas proximales es menor que la existente en las zonas distales, por lo que la aplicación de una presión similar y simultánea sobre ellas provocaría un colapso de todo el sistema venoso, quedando el componente sanguíneo atrapado por debajo de la cámara más proximal durante el período de inflado. Así, se verían reducidas tanto la velocidad a la que la sangre será expulsada, como el volumen eyectado, además de poderse favorecer un flujo retrógrado y, por tanto, un mayor fracaso del sistema venoso (Delis, 2000). De esta forma, algunos autores llegan a la conclusión de que el tiempo de *delay* en el segmento proximal debe ser ligeramente superior que el tiempo empleado en el inflado del segmento distal precedente (Delis, 2000).

La compresión neumática intermitente sobre el sistema linfático

Si la influencia de la IPC sobre los sistemas arterial y venoso ha sido investigada escasamente, tal y como hemos ido insistiendo a lo largo del texto, la investigación de la acción de la IPC sobre el sistema linfático es aún menor, lo que dificulta el establecimiento de pautas concretas a la hora de su aplicación. No obstante, nuevamente intentaremos establecer unas pautas de actuación orientativas en función de la escasa evidencia científica existente.

Mecanismo de acción

Son varios los manuscritos que proponen el empleo de la IPC en el tratamiento del sistema linfático, y más concretamente de los linfedemas, en combinación con medidas higiénico-dietéticas, tratamientos farmacológicos, vendaje compresivo, tratamiento postural, y drenaje linfático manual. Siguiendo a Leduc (1998) y Partsch (1981), la presoterapia favorece la reabsorción del contenido hídrico en el linfedema pero escasamente del contenido proteico concentrándose éste en el espacio intersticial, siendo, por tanto, necesarias otras medidas que favorezcan su eliminación. Aunque este hecho parece no estar del todo claro, ya que existen estudios a favor y en contra, en lo que sí coinciden todos los autores es en que el tratamiento mediante IPC del linfedema ha de ser una opción más dentro del global del tratamiento (Baulieu, 1989; Yamazaki, 1988; Leduc, 1998).

Baulieu (1989) analizó la cinética linfática durante la IPC observando cómo su principal acción es la de favorecer el flujo linfático hacia los colectores y cómo el mayor efecto se producía durante los primeros 5 minutos de tratamiento. Esta acción se mantenía en el tiempo mayoritariamente, aunque en menor cuantía, en los miembros edematosos.

⁷ Entendemos por *delay* el tiempo transcurrido entre el llenado de una cámara y la contigua.

Principios de aplicación

Presiones ejercidas

En relación con las presiones ejercidas, aunque todos los autores coinciden en que las presiones para favorecer el funcionamiento del sistema linfático deben ser menores que las ejercidas sobre el componente sanguíneo, no existe un consenso claro sobre cuáles deben ser éstas. Siguiendo a Leduc (1998) y Foldi (1995), nunca deberán exceder los 30-40 mmHg, al igual que ocurre en el drenaje linfático manual, con objeto de no colapsar los linfáticos. Sin embargo, como mantiene Ferrández (2001), esta presión será la empleada ante edemas en los que el aumento de la carga linfática se produce principalmente a expensas del incremento del contenido hídrico. Sin embargo, cuando es el fallo del sistema linfático el responsable de la instauración del edema y éste es discreto, las presiones deberán mantenerse por debajo de los 40 mmHg, mientras que si es significativo, las presiones podrán elevarse hasta los 60 mmHg, y si nos encontramos con un edema muy voluminoso podremos emplear presiones de hasta 90 mmHg.

En este punto debemos recordar la extrema fragilidad de los vasos linfáticos. Foldi (1995) refiere cómo presiones a partir de los 110 mmHg son capaces de infligir un daño importante a los linfáticos, por lo que se debe ser precavido al trabajar con presiones por encima de 30 mmHg, más aún si estas presiones se van a aplicar repetidamente durante meses e incluso durante años.

En esta misma línea, Eliska (1995) observa cómo presiones entre los 70 y los 100 mmHg, aplicadas mediante un masaje vigoroso, provocan daños en el tejido linfático que afectan sobre todo a las células endoteliales, con mayor presencia y de aparición más temprana, en tejidos que presentan linfedema o edema venoso postrombótico previo. No obstante, aunque la autora observa estos cambios a partir de los 3-5 minutos de aplicación, tal y como ella sugiere, durante una aplicación de un masaje normal, y no el diseñado para el estudio, el daño aparecería a los 20-30 minutos. A pesar de esto, y según esta autora, las presiones efectivas en muchos edemas graves de larga evolución se sitúan entre los 70 y los 100 mmHg, por encima de los 40-60 mmHg sugeridos, pareciendo existir una recuperación parcial del daño infligido al sistema linfático una vez cesan las compresiones ya que, de no ser así, el edema no se resolvería gradualmente.

Ciclos de compresión/descompresión

Los ciclos de compresión/descompresión serán cortos, similares a los aplicados en el drenaje linfático manual, y oscilarán entre los 5-9 s de compresión y los 2-10 s de descompresión en función de la gravedad del edema (Ferrández, 2001).

Para una mejor comprensión de las pautas de aplicación remitimos al lector a la tabla 8.4, en la que se exponen de manera esquemática los principales aspectos que deben tenerse en cuenta. No obstante, recomendamos siempre la aplicación de las mínimas presiones posibles en función de la problemática presente con el objetivo de minimizar el daño linfático.

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DE LA PRESOTERAPIA

Tanto las indicaciones como las contraindicaciones de la presoterapia son similares a las del drenaje y la vacuumterapia, aunque con alguna salvedad que exponemos a continuación, por lo que remitimos al lector a las tablas 8.1 y 8.2.

Disfunciones vasculares periféricas. Dentro de éstas merece especial atención el tratamiento de la claudicación intermitente. Existen estudios, como los de Delis (2000, 2001, 2005) y el de Labropoulos (2005), que han constatado una mejora de las distancias de claudicación, de los índices tobillo-brazo (en inglés, ankle-brachial index [ABI]), del flujo arterial poplíteo, y de la calidad de vida en pacientes con claudicación intermitente tras tratamientos prolongados con IPC.

TABLA 8.4 Parámetros orientativos en la aplicación de la compresión neumática intermitente (Intermittent Pneumatic Compression [IPC])

Mejora de la hemodinámica arteriovenosa			
	Sedestación	Decúbito	Reducción de edemas
Presiones (mmHg)	120-80	60-30	30-70
Ciclos:			
– Compresión	4 s		2-9 s
– Descompresión	16 s		2-10 s
Delay	En función del tipo de inflado de la cámara		(?)

Trombosis venosa profunda. Aunque la aplicación de la presoterapia está contraindicada en miembros que hayan experimentado una trombosis venosa profunda, la IPC está considerada como uno de los tratamientos de elección para su profilaxis (Eisele, 2007).

Embarazo. Durante el embarazo, la IPC constituye una medida terapéutica efectiva para la reducción del edema de miembros inferiores siempre que se eviten las presiones sobre el abdomen (Jacobs, 1982).

Hipertensión arterial no controlada, edemas sistémicos e insuficiencias cardíacas. En pacientes con hipertensión arterial (HTA), el tratamiento con IPC estará totalmente contraindicado, del mismo modo que en pacientes con edemas de origen cardíaco o pulmonar, ya que su aplicación modifica la hemodinámica cardiopulmonar provocando un aumento de la presión en la aurícula derecha, de la presión arterial y de la presión capilar pulmonar (Dereppe, 1989, 1990). No obstante, en caso de ser estrictamente necesaria la aplicación de IPC en estos pacientes, deberá hacerse extremando las precauciones, bajo prescripción médica y, al menos, con monitorización de la presión arterial.

Indicaciones estéticas. En las indicaciones estéticas la presoterapia constituye una terapia complementaria o coadyuvante a otras; no debe contemplarse como terapéutica única si se desea obtener resultados óptimos. Las indicaciones faciales se ven escasamente beneficiadas por la aplicación de la IPC.

Edemas. Se recomienda el abordaje mediante drenaje linfático manual de, al menos, las zonas proximales de los miembros antes y después de la aplicación de IPC con el objetivo de minimizar la sobrecarga linfática y favorecer su función siguiendo las recomendaciones de Baulieu (1989).

TRATAMIENTOS COMBINADOS

Los tratamientos combinados de más frecuente aplicación vuelven a ser, la mayoría de ellos, comunes a la depresoterapia; por ello, remitimos al lector a la [tabla 8.3](#).

Bibliografía

- Adcock D, Paulsen S, Davis S, Nanney L, Shack RB. Analysis of the cutaneous and systemic effects of Endermologie in the porcine model. *Aesthet Surg J* 1998;18(6):414-20.
- Adcock D, Paulsen S, Jabour K, Davis S, Nanney LB, Shack RB. Analysis of the effects of deep mechanical massage in the porcine model. *Plast Reconstr Surg* 2001;108(1):233-40.
- Baulieu F, Baulieu JL, Vaillant L, Secchi V, Barsotti J. Factorial analysis in radionuclide lymphography: assessment of the effects of sequential pneumatic compression. *Lymphology* 1989;22(4):178-85.
- Benelli L, Berta JL, Cannistra C, Amram P, Benhamou G. Endermologie: humoral repercussions and estrogen interaction. *Aesthetic Plast Surg* 1999;23(5):312-5.

- Chang P, Wiseman J, Jacoby T, Salisbury AV, Ersek RA. Noninvasive mechanical body contouring: (Endermologie) a one-year clinical outcome study update. *Aesthetic Plast Surg* 1998;22(2):145-53.
- Christen Y, Wutschert R, Weimer D, De Moerloose P, Kruithof EK, Bounameaux H. Effects of intermittent pneumatic compression on venous haemodynamics and fibrinolytic activity. *Blood Coagul Fibrinolysis* 1997;8(3):185-90.
- Dai G, Tsukurov O, Orkin RW, Abbott WM, Kamm RD, Gertler JP. An in vitro cell culture system to study the influence of external pneumatic compression on endothelial function. *J Vasc Surg* 2000;32(5):977-87.
- Delis KT, Azizi ZA, Stevens RJ, Wolfe JH, Nicolaides AN. Optimum intermittent pneumatic compression stimulus for lower-limb venous emptying. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2000;19(3):261-9.
- Delis KT, Husmann MJ, Cheshire NJ, Nicolaides AN. Effects of intermittent pneumatic compression of the calf and thigh on arterial calf inflow: a study of normals, claudicants, and grafted arteriopathies. *Surgery* 2001;129(2):188-95.
- Delis KT, Labropoulos N, Nicolaides AN, Glenville B, Stansby G. Effect of intermittent pneumatic foot compression on popliteal artery haemodynamics. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2000;19(3):270-7.
- Delis KT, Nicolaides AN. Effect of intermittent pneumatic compression of foot and calf on walking distance, hemodynamics, and quality of life in patients with arterial claudication: a prospective randomized controlled study with 1-year follow-up. *Ann Surg* 2005;241(3):431-41.
- Delis KT, Nicolaides AN, Labropoulos N, Stansby G. The acute effects of intermittent pneumatic foot versus calf versus simultaneous foot and calf compression on popliteal artery hemodynamics: a comparative study. *J Vasc Surg* 2000;32(2):284-92.
- Delis KT, Nicolaides AN, Wolfe JH, Stansby G. Improving walking ability and ankle brachial pressure indices in symptomatic peripheral vascular disease with intermittent pneumatic foot compression: a prospective controlled study with one-year follow-up. *J Vasc Surg* 2000;31(4):650-61.
- Delis KT, Slimani G, Hafez HM, Nicolaides AN. Enhancing venous outflow in the lower limb with intermittent pneumatic compression. A comparative haemodynamic analysis on the effect of foot vs. calf vs. foot and calf compression. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2000;19(3):250-60.
- Dereppe H, Hoylaerts M, Renard M, Leduc O, Bernard R, Leduc A. Hemodynamic impact of pressotherapy. *J Mal Vasc* 1990;15(3):267-9.
- Dereppe H, Hoylaerts M, Renard M, Leduc O, Leduc A, Bernard R. The effects of pressotherapy on cardiovascular hemodynamics. *Rev Med Brux* 1989;10(5):185-6.
- Eisele R, Kinzl L, Koelsch T. Rapid-inflation intermittent pneumatic compression for prevention of deep venous thrombosis. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89(5):1050-6.
- Eliska O, Eliskova M. Are peripheral lymphatics damaged by high pressure manual massage? *Lymphology* 1995;28(1):21-30.
- Ersek RA, Mann GE, 2nd, Salisbury S, Salisbury AV. Noninvasive mechanical body contouring: a preliminary clinical outcome study. *Aesthetic Plast Surg* 1997;21(2):61-7.
- Ferrández J, Theys S, Bouchet J. Reeducación de los edemas de los miembros inferiores. Barcelona: Masson; 2001.
- Fodor PB. Endermologie (LPG): does it work? *Aesthetic Plast Surg* 1997;21(2):68.
- Fodor PB, Watson J. Endermologie and Endermologie-assisted lipoplasty update. *Aesthet Surg J* 1998;18(4):302-4.
- Foldi E. Massage and damage to lymphatics. *Lymphology* 1995;28(1):1-3.
- Frajdenrajch J, inventor. Massage device for application against the skin. Francia, patente EP0978269, 2003. Disponible en: <http://www.freepatentsonline.com/EP0978269B1.html>
- Guitay LP, inventor. Massage device for the human body. Francia, patente EP0284527. 1991. Disponible en: www.freepatentsonline.com/EP0284527B1.html
- Gulec AT. Treatment of cellulite with LPG endermologie. *Int J Dermatol* 2009;48(3):265-70.
- Ireland MA, Davies P, Littler WA. Some aspects of the arterial response to venous occlusion in man. *Clin Sci (Lond)* 1983;65(1):1-8.
- Jacobs MK, McCance KL, Stewart ML. External pneumatic intermittent compression for treatment of dependent pregnancy edema. *Nurs Res* 1982;31(3):159-62. 191.
- Jarricot H. Dermalgies-Réflexes viscéro-cutanées postérieures et organisation nouvelle du méridien principal de la vessie (Zu Tai Yang). *Méridiens* 1980;51-2:97-125.
- Labropoulos N, Leon LR, Jr, Bhatti A, Melton S, Kang SS, Mansour AM, et al. Hemodynamic effects of intermittent pneumatic compression in patients with critical limb ischemia. *J Vasc Surg* 2005;42(4):710-6.
- Latrenta GS, Mick SL. Endermologie after external ultrasound-assisted lipoplasty (EUAL) versus EUAL alone. *Aesthet Surg J* 2001;21(2):128-35.
- Leduc O, Leduc A, Bourgeois P, Belgrado JP. The physical treatment of upper limb edema. *Cancer* 1998;83(12 Suppl American):2835-9.
- Mendes FEMD. Noninvasive liposculpture: an association of external ultrasound delivery with endermosuctioning massage (Correspondence and Brief communications). *Plast Reconstr Surg* 1999;104(4):1206-7.
- Morris RJ, Woodcock JP. Intermittent venous compression, and the duration of hyperaemia in the common femoral artery. *Clin Physiol Funct Imaging* 2004;24(4):237-42.
- Nurnberger F, Muller G. So-called cellulite: an invented disease. *J Dermatol Surg Oncol* 1978;4(3):221-9.
- Ortonne JP, Queille-Roussel C, Duteil L, Emiliozzi C, Zartarian M. Treatment of cellulite: Effectiveness and sustained effect after 6 months with Endermologie® demonstrated by several quantitative evaluation methods. *Nouv Dermatol* 2004;23:261-9.
- Partsch H, Mostbeck A, Leitner G. Experimental studies on the efficacy of pressure wave massage (Lymphapress) in lymphedema. *Z Lymphol* 1981;5(1):35-9.
- Petiot S, Hérison C, Pélissier J. Cancer su sein et médecine de rééducation. Paris: Elsevier Masson; 2007.

- Revuz J, Adhoute H, Cesarini F, Lacarriete C, Emiliozi C. Effets cliniques et histologiques d'un appareil, le Lift 6*, utilisé dans la vieillissement cutané du visage. *Nouv Dermatol* 2002;21:335-42.
- Segers P, Belgrado JP, Leduc A, Leduc O, Verdonck P. Excessive pressure in multichambered cuffs used for sequential compression therapy. *Phys Ther* 2002;82(10):1000-8.
- Shack RB, Endermologie. taking a closer look. *Aesthet Surg J* 2001;21(3):259-60.
- Tricás Moreno JM. Depresoterapia en la celulitis. 2007; Available at: http://www.seme.org/area_pro/textos_articulo.php?id=18.
- Tricás Moreno JM. Depresoterapia en la celulitis. 2007; Available at: http://www.med-estetica.com/Cientifica/Banco_Articulos/2000/24_Depresoterapia.htm. Accessed enero 2000.
- Van Bemmelen PS, Mattos MA, Faught WE, Mansour MA, Barkmeier LD, Hodgson KJ, et al. Augmentation of blood flow in limbs with occlusive arterial disease by intermittent calf compression. *J Vasc Surg* 1994;19(6):1052-8.
- Vergereau R. Utilisation du palper-rouler mécanique en médecine esthétique. *Journal de Médecine Esthétique et de Chirurgie Dermatologique* 1995;XXII(85):49-53.
- Watson J, Fodor PB, Cutcliffe B, Sayah D, Shaw W. Physiological effects of Endermologie®: A preliminary report. *Aesthet Surg J* 1999;19(1):27-33.
- Yamazaki Z, Idezuki Y, Nemoto T, Togawa T. Clinical experiences using pneumatic massage therapy for edematous limbs over the last 10 years. *Angiology* 1988;39(2):154-63.

Fototerapia

José Vicente Toledo Marhuenda*, **Julián Maya Martín****

*Profesor del Departamento de Patología y Cirugía del Área de Fisioterapia de la Universidad Miguel Hernández de Elche

**Profesor Titular del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Concepto y consideraciones generales para su uso terapéutico 185

Definición de radiación y naturaleza de la luz 186

Espectro electromagnético 187

Propiedades físicas de la luz 188

Penetración 188

Efectos generales de la luz 189

Helioterapia 190

Método de aplicación de la helioterapia 191

Efectos fisiológicos derivados de su aplicación 191

Indicaciones y contraindicaciones 192

Radiación infrarroja 192

Métodos de aplicación de la termoterapia por radiación 193

Efectos fisiológicos derivados de su aplicación 195

Dolor 196

Reparación y cicatrización de heridas 197

Rigidez articular y muscular 197

Indicaciones y contraindicaciones 197

Seguridad en la aplicación: riesgos y precauciones 198

Contraindicaciones 198

Radiación ultravioleta 199

Métodos de aplicación de la radiación ultravioleta 200

Antecedentes 200

Técnica de aplicación 200

Efectos fisiológicos derivados de su aplicación 202

Formación de eritema 202

Pigmentación 203

Síntesis de vitamina D 203

Acción bactericida 203

Hiperplasia epidérmica 203

Indicaciones y contraindicaciones 204

185

CONCEPTO Y CONSIDERACIONES GENERALES PARA SU USO TERAPÉUTICO

El término fototerapia, empleado de forma común en el campo de la terapia física, debería abarcar el estudio, desarrollo y aplicación de cualquier tipo de radiación al contemplar, por definición de la luz, el concepto de radiación electromagnética de forma amplia, con todas sus variedades. No obstante, casi la totalidad de tratados que desarrollan este concepto, en relación con el ámbito de aplicación de los fisioterapeutas, lo hacen basándose en la clasificación de la radiación visible y no visible (infrarroja, ultravioleta y la radiación solar). Otro tipo de radiación electromagnética, especial, es la luz láser (tipo de luz amplificada) que de forma

frecuente es abordada en un capítulo diferente debido a sus características especiales de producción y emisión. Finalmente, para cubrir el abanico de posibles formas de radiación, quedaría la utilización terapéutica de las radiaciones ionizantes, cuyo estudio y aplicación sobrepasa los límites de la competencia de los fisioterapeutas y, en la mayor parte de ocasiones, cuando se expone, es abordada en un capítulo aparte, dentro del concepto de radioterapia (Belloch Zimmermann et al, 1972a).

Aceptando esta división, y creyendo oportuna su justificación, vamos a establecer la exposición de este capítulo. Su desarrollo se ha dividido teniendo en cuenta que su producción y su aplicación pueden ser realizadas de forma artificial o de forma natural. En el primer caso, referido a radiación infrarroja (IR) y ultravioleta (UV). En el segundo caso, junto con la banda de radiación visible, mediante la técnica conocida como helioterapia, basada en la aplicación terapéutica de las radiaciones aportadas por el sol.

DEFINICIÓN DE RADIACIÓN Y NATURALEZA DE LA LUZ

Parece oportuno comenzar sentando las bases de lo que debe entenderse por radiación electromagnética, así como sus características físicas principales. Atendiendo a su definición, podemos definir la radiación desde el punto de vista físico como una forma de energía ondulatoria capaz de propagarse a través del espacio. Es importante señalar que también podemos encontrar alguna variación, en la que la radiación se define como un flujo de partículas materiales o, incluso, como una forma de propagación de energía o de partículas.

Esta dualidad en la definición de radiación, en la que se contempla el concepto de energía-fotón junto con el de partículas, asociado a la capacidad de propagación sin necesidad de contacto directo entre la fuente emisora y la superficie del cuerpo receptor, nos da paso para comentar brevemente el desarrollo histórico de los descubrimientos de mayor relevancia que finalmente condujeron al conocimiento que hoy día poseemos del conjunto de radiaciones electromagnéticas.

La luz es energía electromagnética emitida por un cuerpo cuando se altera la estructura de los átomos que lo componen. El átomo se define como la unidad más pequeña de un elemento químico. Éste, de carácter indivisible, permanece en un estado estable de energía denominado estado fundamental, y presenta un núcleo formado por protones y neutrones rodeados por una nube de electrones dispuestos en orbitales que giran en torno al núcleo central. Cuando se le irradia con un aporte energético se produce una alteración de su estabilidad, pasando a un estado de excitación. Esta nueva situación es provocada por la absorción de una cantidad de energía por algunos de sus electrones, lo que produce el salto de orbitales hacia un nivel de energía superior. Por tanto, la emisión de luz produce una modificación del nivel energético de los electrones de un átomo, lo que provoca una alteración de su estructura y una migración de parte de éstos desde orbitales cercanos al núcleo hacia orbitales más periféricos. Posteriormente, una vez cesada la aplicación de la energía, dichos electrones retornan a sus orbitales originales produciendo una emisión de la energía absorbida (Martínez Morillo et al, 2000a).

A lo largo de la historia, numerosos autores han participado en controvertidas disputas dialécticas sobre cuál era la verdadera naturaleza de la luz. Este conjunto de propuestas, desarrolladas y defendidas por diferentes colectivos a lo largo de los años, es conocido como teorías de la luz. De todas ellas, básicamente, nos interesa destacar la teoría ondulatoria, también llamada electromagnética, y la teoría corpuscular, y a sus máximos exponentes de una y otra. Nos referimos a Huygens y Maxwell frente a Newton, respectivamente.

La teoría más antigua fue propuesta por Newton a finales del siglo XVII, defendiendo la naturaleza corpuscular de la luz. Posteriormente, a lo largo de los siglos XVIII y XIX, diferentes autores dudaron de la veracidad de la teoría corpuscular ya que por sí sola no era capaz de explicar de forma completa el comportamiento de la luz. De esta forma, a lo largo de dicho período cronológico se suceden diferentes descubrimientos a favor de la llamada teoría ondulatoria en detrimento de la teoría corpuscular de Newton (Martínez Morillo et al, 2000a; Rodríguez Martín, 2004).

Las ecuaciones propuestas por J.C. Maxwell en el año 1865 fueron capaces de establecer las bases del concepto de campo electromagnético, identificando y definiendo cualquier forma de radiación como la formada por un campo eléctrico y otro magnético. Finalmente, los experimentos de interferencia realizados por T. Young en el inicio del siglo XIX, corroboraron la veracidad del modelo ondulatorio de la radiación. A pesar del postulado formulado por Young, el modelo corpuscular de la radiación electromagnética no fue completamente olvidado y mantuvo autores partidarios de su autenticidad, a quienes el modelo ondulatorio clásico no satisfacía. De esta forma, el inicio del siglo XX coincidió con el resurgimiento de la teoría corpuscular, también conocida como modelo cuántico, gracias al concepto de cuanto de luz, acuñado por A. Einstein (Belloch Zimmermann et al, 1972a). Esta teoría, básicamente, estuvo sustentada en la hipótesis planteada de que la luz estaba formada por corpúsculos llamados fotones. Es decir, cuantos de energía distribuidos en infinitesimales paquetes de ondas capaces de propagarse en todas direcciones y que se comportaban como partículas que al interactuar con la materia eran capaces de transferir una energía determinada, según su naturaleza o características físicas.

Finalmente, como conclusión, hoy día conocemos que cualquier tipo de radiación posee estas dos características. Por un lado, la naturaleza ondulatoria de la luz, o de cualquier tipo de radiación, determina su composición en forma de ondas de una frecuencia y longitud, y explica su comportamiento cuando cualquier otro cuerpo se interpone en su propagación. Por otro lado, la naturaleza corpuscular de la radiación es la responsable de que un conjunto de partículas, paquetes de energía bajo la forma de fotones, sea transportado por cualquier medio, incluso en el vacío, favoreciendo la transferencia de energía entre diferentes cuerpos. Esta transferencia de energía viene determinada por la siguiente expresión:

$$E = h \times \nu = h \times c / \lambda$$

donde h es la constante de Planck ($6,62 \times 10^{-34}$ joules $\times$ segundo), ν equivale a la frecuencia (Hz), c es la velocidad de la luz (m/s) y λ es la longitud de onda de una radiación (m) (Martínez Morillo et al, 2000a).

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Todas las radiaciones presentan idénticas características físicas. Es decir, están formadas por fotones, paquetes de energía, que son transportados por ondas electromagnéticas vinculadas a dichos paquetes.

Ya hemos comentado que la energía capaz de transferir una radiación electromagnética viene determinada principalmente por la frecuencia con la que se transmite esa radiación, ya que h se considera una magnitud constante. También es importante conocer la relación inversamente proporcional entre la frecuencia y la longitud de onda (considerando que la velocidad de propagación de cualquier tipo de radiación coincide con la velocidad de la luz, 3×10^8 m/s, o que este valor se mantiene constante). De esta forma, podemos establecer una clasificación del conjunto de radiaciones electromagnéticas según la energía que son capaces de transportar. En este plano, ordenado según la distribución energética de cada radiación y denominado espectro de radiación electromagnética, en el que sus límites no están establecidos de forma precisa, podemos discriminar hasta un total de cuatro diferentes niveles (Belloch Zimmermann et al, 1972a):

1. Zona de corrientes de baja, media y alta frecuencia. Correspondiente a las radiaciones de mayor longitud de onda y menor energía.
2. Zona de fototerapia, radiaciones solares visibles e invisibles.
3. Zona correspondiente a radiaciones ionizantes roentgen, caracterizadas por su pequeña longitud de onda y gran energía fotónica.
4. Zona de radiaciones gamma, del tipo ionizantes radiactivas, con la máxima banda de energía fotónica y frecuencia junto con el mínimo valor de longitud de onda.

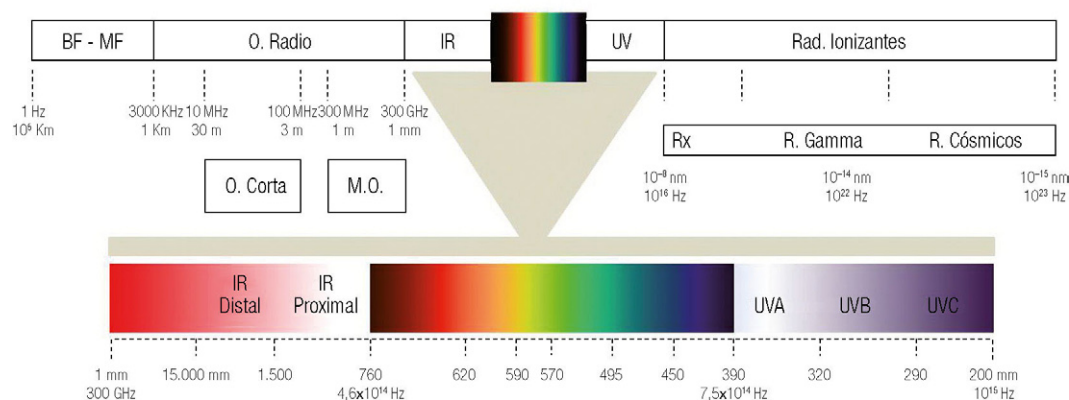


FIGURA 9.1 Espectro electromagnético.

Los dos primeros grupos son clasificados como radiaciones no ionizantes. Éstas se caracterizan por constituirse como un grupo de ondas con capacidad para provocar únicamente excitaciones de electrones de orbitales externos, así como alteraciones de tipo químico de escasa trascendencia (Plaja, 2003). Es decir, no poseen capacidad para provocar arrancamientos de los orbitales más internos, propiedad característica de radiaciones más intensas como las clasificadas en los dos últimos grupos, con capacidad para romper enlaces moleculares y formar iones. Este atributo está determinado por la energía de los fotones de cada radiación, factor directamente relacionado con el valor de frecuencia (Cameron, 2009a) (fig. 9.1).

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA LUZ

La radiación electromagnética está formada por ondas que se propagan en dos tipos de campos, el eléctrico y el magnético, perpendiculares entre sí y a la dirección de avance. La naturaleza ondulatoria de la luz es la responsable de los fenómenos de refracción, reflexión, difracción, polarización y fenómenos de interferencia, entre otros. Especialmente los dos primeros son relevantes en el terreno de la fisioterapia, al presentarse como consecuencia de una interacción con la materia en las interfases de tejido, y poseen especial importancia en la cantidad y calidad de la propagación de la radiación al interior de los tejidos. Estos fenómenos, reflexión y refracción, se producen siempre que un haz de luz se transmite entre dos medios de diferente densidad. El porcentaje de luz reflejada, transmitida y absorbida estará relacionado con variables como el índice de reflexión del medio y el ángulo de incidencia.

Por otro lado, el haz que supera la interfase del medio y penetra en su interior sufre una modificación de la dirección y velocidad de propagación, lo que implica modificación de su frecuencia y longitud de la onda. Un ejemplo del proceso de refracción es la descomposición que la luz sufre al atravesar un prisma de cristal. De esta forma podemos clasificar, atendiendo a su longitud de onda, todos los colores en los que se descompone la luz blanca (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta).

Una vez atravesada la interfase del tejido irradiado, la transmisión de la radiación se produce en el interior de la materia, ocupando mayor relevancia biológica y clínica los fenómenos de absorción y dispersión, responsables directos de la transferencia de energía que realmente se va a producir en el medio y de los cambios biológicos que una radiación es capaz de producir (Martínez Morillo et al, 2000a; Rodríguez Martín, 2004; Watson, 2009).

PENETRACIÓN

La propagación de la luz se transmite incluso en el vacío y penetra a niveles diferentes, según el cuerpo que se interpone en su camino, intentando propagarse en línea recta mientras se

mantengan constantes aspectos como el medio de transmisión y la densidad de éste. La penetración dependerá de la estructura y cohesión de los átomos y las moléculas. Estos espacios intermoleculares facilitarán áreas de distinto tamaño para dejar paso a su propagación, y provocarán tanto cambios en la direccionalidad como variaciones en las longitudes de onda de las radiaciones que intentan atravesar el cuerpo receptor.

Debido a que la propagación de una onda electromagnética se muestra en forma ondulatoria, cuanto más breves sean esas oscilaciones (mayor valor de frecuencia y menor valor de longitud de onda) menor factor de superficie presentará y, por tanto, mayores posibilidades tendrán para atravesar dichos espacios intermoleculares en su propagación hacia capas más profundas.

En concordancia con los valores de longitud de onda, según estudios de penetración realizados por distintos autores, podemos afirmar que la radiación correspondiente al IR proximal es la de mayor capacidad de penetración y absorción, con un valor aproximado a 25 mm, con una longitud de onda próxima a los 1.000 nm. A medida que disminuye la longitud de la onda se reduce su capacidad de penetración (Rodríguez Martín, 2004).

EFFECTOS GENERALES DE LA LUZ

Anteriormente ya hemos expresado que el concepto de fototerapia, en términos generales, se define como el tratamiento con luz visible, radiación IR y UV. Estas tres bandas de radiación difieren en sus características físicas y, en consecuencia, en sus efectos biológicos y terapéuticos. Veamos de forma concreta cada una de ellas.

La luz visible se encuadra dentro del espectro perceptible por nuestra retina. Mantiene unos límites establecidos de forma aproximada, entre los 400 y 750 nm, limitando con el UV (200-400 nm) y con el IR (750-15.000 nm), respectivamente. De forma básica, los efectos de la luz se clasifican en tres grupos: efecto térmico, efecto químico y efecto lumínico.

Las radiaciones luminosas con longitudes de onda de mayor magnitud pertenecen al campo del IR y al de color rojo, y se corresponden con radiaciones de efecto principalmente térmico. El efecto fototérmico es el responsable del calentamiento de los cuerpos, producido por radiaciones con una buena capacidad de penetración y de efecto inmediato. Lo contrario ocurre para las longitudes de onda de menor magnitud, pertenecientes al campo de los UV y el color violeta, que poseen propiedades principalmente químicas. Este efecto fotoquímico es responsable de la activación o aceleración de algunas reacciones químicas celulares. Son radiaciones caracterizadas por su escaso poder de penetración. Su acción, básicamente, consiste en la provocación de cambios de tipo químico, en muchas ocasiones con efecto diferido y con niveles de acción que pueden alcanzar efectos no sólo locales sino también generales. Por último, el rango de longitudes de onda comprendidas entre los 400 y 750 nm, correspondiente al espectro de luz visible, posee un efecto principalmente lumínico. A pesar de que el mayor efecto fototérmico y fotoquímico se obtiene mediante la exposición a radiación IR y UV, respectivamente, la cercanía de estas bandas de emisión con algunos rangos de radiaciones visibles, en especial en sus extremos, provoca que parte de estos efectos aparezcan bajo la exposición de luz visible. De esta forma, podemos considerar tres bandas que caracterizan los colores del espectro de luz visible (Belloch Zimmermann et al, 1972a; Martínez Morillo, 2000a).

1. Grupo A: formado por el color rojo-anaranjado, con efecto principalmente térmico.
2. Grupo B: formado por el color azul-violeta, con ligero efecto fotoquímico.
3. Grupo C: formado por el color amarillo-verde, caracterizado por su carácter neutro, carente de efectos marcados, principalmente por su localización central.

El efecto fotolumínico de la luz visible es capaz de influir de manera relevante en la regulación del ritmo circadiano. Entre sus efectos principales destaca la influencia sobre este ciclo, relacionado de forma directa con el período de exposición a la luz y fundamental en la determinación y establecimiento de los patrones del sueño o alimentación, entre otros, debido a su



FIGURA 9.2 Aplicación de luminoterapia con longitudes de onda comprendidas entre 450-500 nm.

acción sobre el control de la producción y liberación hormonal. Es conocida la influencia que sobre las funciones vitales poseen los cambios en la duración de los ciclos de luz y de oscuridad. Algunos ejemplos son la relación entre la reducción de los niveles hormonales de melatonina, hormona reguladora del sueño, con los ciclos prolongados de oscuridad, o la influencia anímica de las estaciones del año, en consonancia con las horas de luz y el nivel de luminosidad diaria (Rulffs, 2005). También puede interactuar de forma secundaria con el sistema nervioso, actuando de forma indirecta sobre aspectos psicológicos que guardan relación con el tipo de color. Su efecto tiene aplicación en el tratamiento de enfermedades y trastornos emocionales. Esta técnica, denominada cromoterapia, se basa en la utilización de luz coloreada para restaurar el equilibrio en el plano físico y psicológico (Martínez Morillo, 2000a).

La terapia con luz visible se utiliza especialmente en aplicaciones profilácticas, dietéticas y terapéuticas. No obstante, en el ámbito terapéutico no encontramos demasiadas aplicaciones clínicas. Algunos ejemplos son las aplicadas en el recién nacido o sobre el acné. En el primer caso, con el objetivo de favorecer la síntesis de vitamina D, por su efecto sobre las fontanelas, o en el tratamiento de la hiperbilirrubinemia. Se trata de una exposición intensa y prolongada, todavía en incubadora, a una luz azul-blanca (450-500 nm) con el fin de favorecer la eliminación de la bilirrubina (Gonzales de Prada, 2005). En el caso del acné, diversos estudios han comprobado la eficacia de longitudes de onda correspondientes al color azul, 400 y 420 nm, sobre lesiones inflamatorias causadas por *Propionibacterium acnes*, aunque esta aplicación ha sido desplazada por la mayor eficacia de la radiación UV y el tratamiento farmacológico (Dreno et al, 1997; Drenoo, 2004) (fig. 9.2).

HELIOTERAPIA

Se define como la utilización de la radiación solar con finalidad profiláctica y terapéutica. La luz solar mantiene una emisión de amplio espectro en la que casi el 50% de la radiación que alcanza la superficie terrestre pertenece a la luz visible. Otro porcentaje elevado de energía procedente de la radiación solar, aproximadamente el 40%, deriva de la radiación IR, lo que deja un escaso margen para la radiación ultravioleta, concretamente un 8% (Krunsen Basford, 1997; Rulffs, 2005).

Esta técnica ha sido empleada con una finalidad terapéutica desde tiempos muy remotos. Grandes civilizaciones, entre las que destacan la griega y la romana por la sistematización de estas aplicaciones, se han beneficiado de prácticas solares con la intención de obtener mejoras en gran variedad de enfermedades como dermatosis, ulceraciones o atrofas musculares (Armenta Peinado, 1998; Melia Oliva, 2008). En un período cronológico posterior, estas prácticas climáticas sufrieron una gran decadencia. Sin embargo, a partir de finales del siglo XVIII, renovaron el interés de social y sanitario. Durante el siglo XIX, principalmente en el continente

europeo, destacaron las escuelas de Lyon, en Francia, Austria y Alemania, con la implantación de pabellones de helioterapia en sanatorios de tuberculosis (Thom, 1974b; Rulffs, 2005). A partir de este período, una gran variedad de patologías fueron expuestas a la acción solar (úlceras cutáneas, edemas, artritis, ictericia, raquitismo, tuberculosis, o incluso estados depresivos [Tsai et al, 2007]), con la esperanza de que el sol y la energía que emanaba de él fueran capaces de mejorar la salud de aquellos que podían permitirse pasar largas temporadas exponiendo sus zonas afectadas en una región geográfica caracterizada por su beneficioso clima y su elevado índice de radiación solar (Licht, 1967). El inicio del siglo xx destacó no sólo por la experimentación clínica sino también por su sistematización, tanto terapéutica como profiláctica. Actualmente, debido a la ausencia de las principales indicaciones terapéuticas, cuadros de tuberculosis y raquitismo, el fervor con el que en tiempos pasados fue empleada esta técnica se ha reducido hasta la casi desaparición de sus aplicaciones (Cameron, 2009a). No obstante, la helioterapia mantiene beneficios que actualmente cuentan con un gran número de seguidores. Nos referimos a la acción combinada de la climatoterapia y balneoterapia o, simplemente, a la práctica de baños solares en zonas costeras y estaciones calurosas. Por tanto, la helioterapia no se entiende como tratamiento aislado, sino en combinación con factores que condicionan el clima de una situación geográfica. Entendemos que estas variables deben ser tenidas en cuenta a la hora de aconsejar su práctica. Nos referimos a la hora del día, la estación del año, la altura sobre el nivel del mar, las características atmosféricas y, por último, el coeficiente de reflexión (Martínez Morillo et al, 2000b).

MÉTODO DE APLICACIÓN DE LA HELIOTERAPIA

Se aconseja desnudar la zona corporal que debe tratarse, proteger la cabeza, cubrir los ojos con elementos homologados, evitar la exposición directa al viento y no intercalar ningún cristal entre la fuente solar y el paciente. También se aconseja mantener un criterio en cuanto a horarios de aplicación, así como provocar una exposición progresiva, tanto en tiempo como en superficie corporal. El plan de exposición general universalmente aceptado es el propuesto por Rollier. Éste se basa en una progresión establecida durante 15 días, en la que de forma pautada se exponen segmentos corporales, a excepción de la cabeza, y en un orden establecido (pies; piernas; muslos, muñecas y manos; abdomen, glúteos y antebrazos; tórax y miembros superiores) hasta alcanzar la exposición completa, anterior y posterior, durante un tiempo máximo de 3 horas y, siempre, manteniendo la dosis suberitematosa. A partir de la decimoquinta sesión, el tiempo de exposición permanece constante.

Existe una diferenciación relacionada con los baños de sol de aplicación general. Éstos pueden ser con sudoración y sin sudoración, con la única diferencia de la provocación de fatiga en el primer caso, lo que favorece la sobre elevación térmica y, por tanto, la mayor eliminación de toxinas. No obstante, esta técnica no está exenta de riesgos y puede estar contraindicada en algunos pacientes con insuficiencias en órganos principales. En el segundo caso, el baño sin sudoración, puede aplicarse durante un período de tiempo mayor que el anterior y presenta mayor facilidad de aplicación en un amplio segmento de población, ya que las reacciones que provoca no son tan intensas. En ambos casos, una vez finalizado el baño solar, se aconseja una ducha fría para provocar un efecto tonificante general (Belloch Zimmermann et al, 1972b; Thom, 1974b).

EFFECTOS FISIOLÓGICOS DERIVADOS DE SU APLICACIÓN

Estos efectos se clasifican en dos grandes grupos. Por un lado, los efectos locales, entre los que destacamos el aumento de temperatura, circulación periférica, liberación de sustancias vasodilatadoras y del metabolismo cutáneo. Estos efectos son responsables de la producción del eritema solar, que presenta un tiempo de latencia aproximado de 12 a 14 horas. Por otro lado, también se produce un cierto efecto analgésico, relajante muscular y descontracturante; un efecto favorecedor sobre la cicatrización de heridas; un estímulo de la sudoración y un claro

efecto sobre la pigmentación de la piel. Este último derivado, directo del efecto fotoquímico de la radiación UV.

Como efectos generales destacamos: la vasodilatación periférica, derivada de la elevación de la temperatura, la sudoración intensa y el aumento sobre el metabolismo general. Todo ello produce un efecto sobre la anorexia, tanto en niños como en adultos convalecientes, y sobre grandes órganos como el sistema cardiocirculatorio, respiratorio y renal, así como sobre el sistema nervioso central, con un claro efecto sedante, relajante, e incluso, antidepressivo (Masuda et al, 2005; Tsai et al, 2007).

Idéntica clasificación requiere la descripción de las reacciones adversas derivadas de la exposición solar. Éstas pueden ser de tipo local o general. Respecto a las primeras, destacamos el eritema cutáneo, desde un grado mínimo hasta la producción de vesículas y ampollas; las alteraciones oculares como conjuntivitis y, finalmente, dermatosis o envejecimiento y degeneración cutánea, con el melanoma como mayor grado degenerativo provocado por exposiciones repetidas y prolongadas. Como reacción general de una exposición excesiva a la luz solar se presentan la cefalea, los vértigos, las náuseas, la dificultad respiratoria, la hipotensión y los mareos que, incluso, pueden provocar una insolación grave que alcance desde un desfallecimiento hasta un golpe de calor.

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

De forma general, manteniendo unos principios de seguridad básicos, la helioterapia puede ser aplicada en cualquier localización geográfica, siempre que se respeten las medidas de seguridad comentadas y los tiempos de exposición. Es obvio que durante la aplicación debe vigilarse la evolución del paciente y ante cualquier reacción no deseable se aconseja suspender el tratamiento.

Como principales indicaciones, destacamos las alteraciones metabólicas, raquitismo, cuadros de osteoporosis, estados depresivos y de convalecencia, tuberculosis, psoriasis y cicatrización de heridas y, en general, patologías reumáticas, neuralgias y mialgias.

Las contraindicaciones de mayor importancia son las alteraciones o insuficiencias de órganos principales, cuadros febriles y enfermedades en fases agudas o hemorrágicas, así como algunos tipos especiales de tuberculosis.

RADIACIÓN INFRARROJA

El uso de la radiación infrarroja en el tratamiento de una amplia variedad de patologías tiene una larga historia. Un informe presentado por Fleck (1952) sugirió que la radiación infrarroja estaba siendo utilizada en el tratamiento de una amplia variedad de situaciones clínicas tales como tuberculosis, elefantiasis y diversas lesiones de los tejidos blandos. Hoy día, aunque con un uso cada vez menor, la radiación infrarroja continúa siendo empleada por parte de los fisioterapeutas de forma habitual en la práctica clínica. Entre sus fines se encuentra el alivio del dolor, la rigidez del tejido, para aumentar los rangos de movimientos articulares, y para mejorar la cicatrización de lesiones de tejidos blandos y lesiones de la piel (Michlovitz, 1986; Kitchen y Partridge, 1991a). Actualmente, el empleo de los IR en la práctica clínica está disminuyendo, conjuntamente con otros agentes térmicos como las microondas continuas y la diatermia de onda corta continua.

El sistema de transferencia de calor por radiación no necesita un medio material de contacto para su propagación. La radiación IR es capaz de atravesar el aire sin provocar un incremento de su temperatura y sólo se transforma en calor cuando el cuerpo receptor es capaz de absorber la radiación. El grado de termoterapia provocado y la profundidad de sus efectos se relacionan con la frecuencia y naturaleza de los tejidos.

Veamos primero las condiciones de aplicación de la radiación IR y su metodología terapéutica para, posteriormente, exponer los principales efectos terapéuticos, así como sus indicaciones y contraindicaciones.

La radiación IR se produce como resultado del movimiento molecular dentro de los materiales calentados. Un aumento en la temperatura por encima de cero absoluto (0° Kelvin) provoca vibración o rotación de las moléculas dentro del componente de la materia que conduce a la emisión de radiación infrarroja. Todos los materiales y cuerpos calientes, por lo tanto, emiten radiación IR en grados diferentes. La temperatura del cuerpo afecta a la longitud de onda de la radiación emitida, cuya frecuencia media aumenta con un incremento de la temperatura. Así, a mayor temperatura del cuerpo, mayor frecuencia media de producción y, por consiguiente, más corta es la longitud de onda. La mayoría de los cuerpos, sin embargo, no emiten radiación IR en una única banda de ondas. Por lo tanto, se pueden emitir numerosas longitudes de onda diferentes debido a la interacción entre la emisión y la absorción de radiaciones que afectan al comportamiento de las moléculas (Kitchen, 1996).

MÉTODOS DE APLICACIÓN DE LA TERMOTERAPIA POR RADIACIÓN

Queda claro que la banda de emisión IR limita con el color rojo y con la emisión de microondas. Este intervalo de longitudes de onda está fijado, de forma aproximada, entre los 750 y 15.000 nanómetros. No obstante, las propiedades físicas de esta radiación varían a lo largo de este espectro. Dentro de este intervalo se establecen tres bandas significativas, atendiendo al nivel de absorción y a la capacidad para provocar efectos biológicos, denominadas como tipos A, B y C (Martínez Morillo et al, 2000c; Rodríguez Martín, 2004).

Así, la Comisión Internacional sobre la Iluminación (CIE) clasifica la radiación IR en tres bandas biológicamente importantes. Éstas difieren en el grado en que son absorbidas por los tejidos y, por lo tanto, en su efecto sobre éstos:

1. IR A: valores espectrales de 780-1.500 nm.
2. IR B: valores espectrales de 1.500-3.000 nm.
3. IR C: valores espectrales de 3.000-15.000 nm.

Para la CIE, a nivel terapéutico, las longitudes de onda empleadas con mayor frecuencia se establecen entre los 780 y los 1.500 nm, correspondientes al nivel de emisión de la radiación IR cercana a la luz visible o tipo A (Watson, 2009). Por este motivo, a pesar de encontrar una clasificación triple, en la práctica, esta diferencia en la producción de efectos biológicos obliga a una diferente y más simple división, basada en su capacidad terapéutica y utilidad clínica. No obstante, algunos autores cifran de forma aproximada en 1.000 nm el valor de longitud de onda más frecuentemente observado en el uso terapéutico (Rodríguez Martín, 2004; Cameron, 2009b).

La radiación IR es producida de forma natural por el sol. Así, dentro de la radiación solar, el IR ocupa un 59% de su espectro de emisión. En fisioterapia se utilizan aparatos productores de radiación IR, basados en la elevación de temperatura de un cuerpo, a través de la corriente eléctrica. Éstos emiten gran parte de la energía comunicada en forma de radiaciones IR (Maya y Alborno, 2009). Las fuentes de emisión de tipo artificial consisten básicamente en conductores metálicos que son calentados al paso de una corriente eléctrica. Las más habituales se dividen en dos tipos, según sus características: alta temperatura o baja temperatura, atendiendo a la banda de IR emitida. Los primeros emiten IR de onda corta (780 y 1.500 nm), junto con una gran cantidad de luz visible. La capacidad de penetración de esta banda de radiación es mayor, entre 25 y 30 mm, aproximadamente, lo que permite alcanzar, incluso, ramificaciones nerviosas terminales y vasos sanguíneos (Watson, 2009). El segundo tipo emite IR de onda larga (1.500 y 15.000 nm), con una menor penetración, entre 5 y 10 mm, aproximadamente. Este tipo de aparatos, a diferencia de los anteriores, requieren un período de calentamiento para una óptima emisión de radiación (Thom, 1974a; Igual Camacho, 1998; Plaja, 2003; Watson, 2009; Cameron, 2009b).

La penetración de una radiación electromagnética depende de la intensidad, de la longitud de onda y frecuencia, del ángulo de incidencia y de variables relacionadas con la capacidad de absorción. La capacidad de la radiación IR para atravesar los tejidos en profundidad es

realmente limitada ya que ésta se absorbe en las primeras capas de la piel, aunque puede ampliarse mediante el mecanismo de transferencia de calor por conducción. No obstante, el empleo de la radiación IR para calentamiento de capas más profundas, aparte de limitada, no está exenta de riesgos. El mecanismo de conducción supone un aumento de temperatura superficial elevado para conseguir, por contacto tisular, un ligero calentamiento más profundo. En ese caso, habría que plantearse los efectos adversos derivados de un incremento de temperatura superficial para conseguir un escaso aumento térmico a niveles un poco más profundos. Por ello, existe un claro consenso en que el efecto principal de la radiación IR es el térmico y a un nivel sólo superficial.

Los estudios publicados que intentan cuantificar la penetración de este tipo de radiación muestran una variabilidad importante. No obstante, el nivel máximo al que se absorbe casi la totalidad de la energía derivada de la radiación IR se encuentra próximo a 25 mm de profundidad. Estos niveles se alcanzan mediante la utilización de radiación IR corta (longitudes de onda aproximadas a 1,2 mm), estableciendo el límite de este parámetro en 2 mm, valor a partir de cual se obtiene una profundidad realmente limitada (Bachem y Reed, 1931; Watson, 2009; Cameron, 2009b).

En cuanto a la dosificación, el grado de calentamiento producido en los tejidos de un paciente como resultado del empleo de la radiación IR puede calcularse matemáticamente (Selkins y Esmeril, 1982; Orenberg et al, 1986) o puede grabarse en los tejidos por el uso de sensores de calor de varios tipos (Kramer, 1984; Westerhof et al, 1987; Moss et al, 1989). Mientras que ambas prácticas pueden ser apropiadas en situaciones de investigación, en la práctica clínica diaria, para calibrar el nivel de calentamiento desarrollado en los tejidos superficiales, la guía será la información sensitiva del paciente. La cantidad de energía recibida por el paciente estará en consonancia con la intensidad de la lámpara (comúnmente medida en vatios), la distancia de la lámpara al paciente, el ángulo de incidencia y la duración del tratamiento.

A pesar de que la aplicación de esta técnica no supone demasiados riesgos, el paciente no está exento de efectos perjudiciales derivados de una mala praxis (Gul y O'Sullivan, 2005). Por este motivo, antes de proceder a su empleo, es necesario comprobar la ausencia de alteraciones en el paciente que puedan suponer una contraindicación. A pesar de la facilidad en la aplicación, comparado con otras técnicas en las que el conocimiento de parámetros de tratamiento más complejos hace que sean tomadas con una mayor precaución, la metodología de aplicación aconseja seguir un procedimiento estructurado en la comprobación de aspectos importantes (Low et al, 1992). En primer lugar, se recomienda encender la lámpara de forma previa a la colocación del paciente con el fin de comprobar si el funcionamiento es adecuado antes de estar dispuesta sobre la superficie que va a tratarse. Posteriormente, el paciente debe colocarse con la superficie corporal que va a irradiarse desnuda, lo que facilitará el examen de la piel y del tejido corporal para comprobar la presencia de irregularidades cutáneas cuyo calentamiento pueda no estar indicado. Si los ojos quedan dentro del campo de irradiación del foco deben ser protegidos con accesorios adecuados y homologados para este fin. Una vez comprobados estos aspectos, colocaremos la lámpara en posición vertical con la superficie que va a irradiarse, según la ley de Lambert. Este postulado se refiere a la importancia del ángulo de inclinación con el que una radiación incide sobre una superficie. La máxima absorción se produce con un ángulo perpendicular. Valores mayores de 30° de incidencia aumentan la diferencia entre la emisión y absorción (Igual Camacho, 1998; Martínez Morillo et al, 2000c; Plaja, 2003). No nos parece adecuada la recomendación de algunos autores de no colocar la lámpara en posición vertical, aludiendo como justificación a la posibilidad de que pueda producirse una rotura del foco y que los fragmentos puedan caer sobre el paciente.

Colocaremos la lámpara a una distancia media aproximada entre 50 y 100 cm, como recomiendan algunos autores (Belloch Zimmermann et al, 1972c; Igual Camacho, 1998; Martínez Morillo et al, 2000c; Plaja, 2003; Rodríguez Martín, 2004). Debe tenerse en cuenta que la divergencia de la luz provoca una variación en la intensidad de la radiación emitida inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el emisor y receptor. Es importante

mantener un parámetro fijo en la distancia emisor-receptor. De esta forma, la experiencia de utilización nos facilitará el manejo de tiempos de aplicación similares ya que si la potencia del foco se mantiene, así como la distancia de aplicación, los efectos térmicos serán proporcionales al tiempo de aplicación.

Como en otros procedimientos fisioterapéuticos, concretamente en el caso de la termoterapia profunda, la dosis siempre debe ser establecida según la sensación térmica subjetiva del paciente (Thom, 1974a; Rioja del Toro, 1996; Cameron, 2009b). Los niveles de percepción establecidos pueden clasificarse en liminal, supraliminal y nivel de tolerancia. Éstos se traducen, en la práctica, en los siguientes niveles de dosificación: nivel I o leve (sensación térmica muy ligera, aunque perceptible); nivel II o moderado (sensación térmica ligera y agradable); nivel III o intenso (sensación soportable, aunque casi no agradable), y nivel IV o intolerable (sensación que roza el dolor, en la que se provoca una gran sudoración y eritema intenso).

Las dosis más empleadas se corresponden con los niveles II y III, en los que un tiempo medio de aplicación de entre 10 y 20 minutos es capaz de provocar temperaturas corporales de 36-38 °C y 38-40 °C, respectivamente. Según estudios realizados, una temperatura de entre 40 y 45 °C, mantenida durante un mínimo de 5 minutos, es capaz de provocar efectos biológicos terapéuticos (Hendler et al, 1958; Lehmann y De Lateur, 1990). En cambio, otros autores recomiendan un tiempo de exposición que llega, incluso, hasta los 30 y 60 minutos (Belloch Zimmermann et al, 1972c; Martínez Morillo et al, 2000c). Creemos conveniente resaltar que tiempos superiores a 30 minutos no deben ser empleados con las distancias señaladas anteriormente y en aplicaciones locales, caracterizadas por una menor superficie de exposición y, por tanto, con un mayor riesgo de provocar aumentos incontrolados de temperatura cutánea (Crockford y Hellon, 1959; Gul y O'Sullivan, 2005). No obstante, estos tiempos pueden superarse siempre que se aumente la distancia y se controle de forma adecuada el calentamiento provocado. Como norma, se establece un intervalo de duraciones de aplicación que puede variar entre los 10 y 60 minutos, según el tipo de aplicación, local, regional o general (Plaja, 2003).

Se aconseja vigilar la zona irradiada con frecuencia, aproximadamente cada 5-10 minutos, y especialmente en las primeras sesiones, para conocer la tolerancia del paciente. Por último, también se recomienda suspender el tratamiento ante una sensación térmica desagradable y superior a la planteada, o ante la presencia de un eritema intenso (Martínez Morillo et al, 2000c).

Las principales indicaciones de aplicación y su correlación con la dosis terapéutica pueden clasificarse como sigue:

- Efecto analgésico. Dosis I, correspondiente a una sensación de calor leve, aplicada con una duración aproximada de 10 minutos.
- Efecto antiflogístico. Dosis II, correspondiente a una sensación de calor moderado, durante un tiempo máximo de 30 minutos.
- Efecto activador. Dosis III, correspondiente a una sensación térmica intensa, aplicada durante un tiempo comprendido entre 30 y 45 minutos como máximo.
- Efecto de acción general. Dosis II, aplicada de forma general en el denominado baño total, correspondiente a una sensación térmica moderada y empleada durante un tiempo máximo de 60 minutos.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS DERIVADOS DE SU APLICACIÓN

El incremento de temperatura, aunque superficial, provoca una serie de efectos fisiológicos nada despreciables a nivel terapéutico, aunque no está exento de peligros (Dover et al, 1989). Destacamos sus efectos sobre la función celular, el flujo sanguíneo, el colágeno y la influencia sobre el rango de movimiento articular, el tejido nervioso y el músculo, en su función y capacidad de contracción, así como en la reparación tisular (Watson, 2009; Cameron, 2009b). Los efectos fisiológicos pueden ser producidos en dos niveles distintos, local y general.

A nivel local nos encontramos con la aparición de un eritema sin tiempo de latencia, a diferencia de la radiación UV, provocada por el aumento de temperatura y la vasodilatación cutánea derivada de esta hiperemia defensiva. Este enrojecimiento puede ser visible a partir de los 10 minutos de la aplicación y es capaz de mantenerse hasta 60 minutos, una vez finalizada la aplicación. Varios estudios indican que la temperatura de la piel se eleva hasta los 42-43 °C. Más allá de este nivel es fácil que el paciente perciba una sensación dolorosa (Lehmann et al, 1966). La termoterapia provoca un incremento sobre el trofismo celular y la facilitación de sustancias de desecho, favoreciendo la reabsorción de exudados y edemas, así como la regeneración celular. Por otro lado, obtenemos un efecto analgésico gracias a la estimulación directa de receptores cutáneos cuya actividad llega a provocar un bloqueo en la puerta de entrada del sistema de control espinal (Thom, 1974a; Plaja, 2003; Cameron, 2009b).

A nivel general, los efectos se consiguen mediante la aplicación conocida como baño total de luz (Igual Camacho, 1998). Para esta técnica se dispone de una cabina adaptada a la superficie corporal en la que el paciente se coloca en posición de decúbito, con la cabeza fuera de la cabina. Este tipo de aplicación es capaz de provocar aumentos importantes de temperatura corporal y una gran sudoración. La metodología de aplicación aconseja su empleo durante períodos prolongados, que pueden incluso llegar hasta los 60 minutos. Posteriormente, el paciente debería sumergirse en un baño de agua fría o ducha general para provocar un contraste térmico y un entrenamiento del sistema cardiovascular. Por lo tanto, este tipo de aplicación provocará una reacción de mayor nivel que, basada en los efectos locales anteriores y al producirse en una zona corporal más extensa, tendrá como consecuencia una mayor sudoración y una mayor repercusión sobre órganos importantes. El principal efecto derivado de este aumento de temperatura corporal se produce gracias a la vasodilatación en una superficie de mayor extensión, por afectación directa o por influencia refleja sobre otros tejidos corporales que pueden condicionar la aparición de reacciones de tipo neurovegetativo. Estos cambios pueden llegar a afectar a la frecuencia cardíaca y respiratoria, así como a la función renal. Por otro lado, el efecto analgésico provocado por estimulación directa de las terminaciones sensitivas se muestra en mayor medida que en aplicaciones locales, provocando una disminución de la sensibilidad nerviosa (Martínez Morillo et al, 2000c).

Como ya comentamos anteriormente, los efectos terapéuticos son consecuencia directa de la sobreelevación térmica de los tejidos. Los efectos fisiológicos de mayor relevancia, según estudios publicados, se establecen sobre la circulación, la cicatrización del tejido, el rango de movilidad articular, el dolor y el espasmo muscular y, finalmente, sobre la capacidad de contracción del músculo (Watson, 2009; Cameron, 2009b). Veamos de forma más desarrollada las principales conclusiones de estos estudios.

Dolor

La radiación IR está indicada en cuadros de dolor elevado y en los que el paciente no tolere ni el contacto directo ni un aumento de temperatura tan brusco como el que puede llegar a provocar la aplicación de cuerpos sólidos mediante conducción. El estímulo térmico, aplicado sobre la piel, es capaz de provocar una contrairritación que justificaría la mejoría en patologías con dolor crónico. Su efecto analgésico está basado en su acción sobre el bloqueo de la puerta de control espinal o, incluso, por la liberación de endorfinas (Masuda et al, 2005; Gale et al, 2006). La estimulación sobre receptores de dolor y el aumento sobre el dintel doloroso en presencia de un dolor de tipo irritativo favorecen la aplicación de este procedimiento de forma previa a otros tratamientos manuales como son la movilización o las maniobras de masoterapia. En parte, su efecto analgésico se debe a la acción relajante y descontracturante que es capaz de producir sobre la musculatura.

La facilidad de aplicación lo convierte en un medio físico muy útil como analgésico en atención domiciliaria, aunque conviene explicar al paciente que existen contraindicaciones y no posee un efecto favorecedor para cualquier tipo de dolor. Nos referimos al dolor agudo de tipo inflamatorio como el provocado por traumatismos recientes o por alteraciones circulatorias localizadas (Schmidt et al, 1979; Plaja, 2003).

Reparación y cicatrización de heridas

Como consecuencia de los efectos fisiológicos comentados anteriormente, en especial el aumento de la microcirculación y oxigenación a escala local, algunas lesiones cutáneas pueden mejorar como consecuencia directa de la aplicación de radiación IR. Varios estudios han experimentado su efecto terapéutico sobre las placas psoriásicas (Orenberg et al, 1986; Westerhof et al, 1987). No obstante, a pesar del volumen de publicaciones obtenidas, la radiación empleada con más frecuencia en esta enfermedad es la UV, bien de forma aislada o en combinación con tratamiento farmacológico. Por otro lado, algunas referencias destacan la capacidad de esta radiación sobre la cicatrización de heridas. Sin embargo, muchos de estos resultados son contradictorios, ya que algunos autores son partidarios de contraindicar su empleo o limitarlo sólo a las fases proliferativa y de remodelación (Danno et al, 2001). Esto se debe a su capacidad para provocar un retraso en la fase inflamatoria, un aumento de edema y, por tanto, provocar un retraso en el proceso de cicatrización (Watson, 2009; Cameron, 2009b). En el caso de cicatrización de úlceras, también existe cierta controversia sobre la aplicación de esta técnica, aunque algunas referencias bibliográficas aconsejan su aplicación con este fin en heridas superficiales, de pequeña superficie, y siempre en fases no inflamatorias (Hyland y Kirland, 1980).

Rigidez articular y muscular

El aumento sobre la movilidad y la disminución de la rigidez articular son efectos que provienen de la sobreelevación térmica de tejidos blandos. Este incremento, provocado por cualquier agente térmico, es capaz de provocar una alteración en la capacidad de extensibilidad en el músculo y el tejido conjuntivo, rico en fibras de colágeno, especialmente en el tendón y la cápsula articular (Knight et al, 2001; Robertson et al, 2005; Usuba et al, 2006). La radiación IR es una técnica ampliamente utilizada para favorecer el rango de movimiento. Especialmente, en procesos degenerativos crónicos, sobre cuadros de rigidez articular y adherencias del tejido conjuntivo, como tratamiento previo a la movilización. Algunos estudios establecen que la temperatura óptima para conseguir una mayor extensibilidad del tejido se establece alrededor de los 40-45 °C, durante un período de tiempo mínimo de 10 minutos (Watson, 2009; Cameron, 2009b). Además, es determinante que el tratamiento movilizador y de estiramiento se lleve a cabo durante un margen de tiempo próximo a este período de calentamiento (Lehmann et al, 1970).

Por otro lado, el calentamiento de las capas superficiales consigue una reducción de la actividad de las fibras gamma, una menor actividad en el huso muscular e, incluso, un estímulo de descarga en el órgano tendinoso de Golgi, lo que conlleva una relajación de la musculatura lisa y esquelética. Su efecto en los músculos deriva de su acción analgésica y vasodilatadora superficial. El efecto relajante sobre la musculatura lisa y estriada es, tal vez, la indicación más común para el uso de esta técnica.

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

Proponemos a modo de indicaciones una serie de acciones terapéuticas que son comunes a múltiples patologías. Por ello, creemos más conveniente no entrar a enumerarlas, sino establecer estas acciones como propuestas de objetivos de tratamiento.

- Acción vasodilatadora y trófica sobre los tejidos. Por su acción activadora sobre la circulación sanguínea, lo que provoca un mayor aporte de elementos nutritivos.
- Acción antiinflamatoria. La hiperemia activa favorece el proceso inflamatorio, provocando un ligero aumento en los mecanismos de defensa de infecciones en tejidos accesibles al calentamiento de la radiación IR. Por ello, está indicada en procesos inflamatorios crónicos y degenerativos articulares, especialmente dentro del cuadro de patologías reumáticas.
- Acción antiespasmódica y relajante muscular. Disminución del tono muscular, estriado y liso. En este último caso, en órganos superficiales, la disminución del tono de la musculatura

lisa se produce por vía segmentaria refleja, especialmente en cuadros de dolor y espasmo de órganos internos. No obstante, esta indicación queda limitada a la profundidad de dicho tejido y en función del espesor de tejido graso.

- Acción sedante y analgésica. Elevación del umbral de sensibilidad dolorosa en cuadros de dolor traumático.

Seguridad en la aplicación: riesgos y precauciones

La irradiación IR puede ocasionar daño en los tejidos corporales al utilizar largos tiempos de exposición, o bien con el uso de intensidades muy altas. Los tejidos más sensibles o con más probabilidades de poder ser dañados son la piel y los ojos.

Los efectos de la exposición prolongada y excesiva a la irradiación IR sobre la piel han sido descritos por varios autores (Hyland y Kirland, 1980; Moss, 1989). Éstos autores destacan un aumento importante de la vasodilatación del sistema arteriolar que va a conducir a:

- Un aspecto de tipo eritematoso.
- Una pigmentación permanente.
- Formación de un hematoma.
- Ampollas.
- Edema.
- Quemadura.

Es importante considerar una serie de precauciones cuando se utiliza la radiación IR en el tratamiento de pacientes, además de realizar una revisión eficaz y frecuente del equipo de IR empleado.

En referencia al equipo, la seguridad eléctrica del equipo debería verificarse regularmente por personal capacitado técnicamente, ateniéndose a las normas BS5274: parte 1, Requisitos Generales para la Seguridad de Equipo Eléctrico Médico. La producción de la lámpara debería verificarse en referencia a la estabilidad, la alineación y la seguridad mecánica de todas las partes de la lámpara (con atención particular dirigida a los elementos de seguridad de calentamiento y la eficacia de los dispositivos posicionales).

Contraindicaciones

A continuación, se describen las contraindicaciones más representativas de la radiación IR en la práctica clínica, aunque algunas ellas no han sido totalmente comprobadas mediante la investigación clínica (fig. 9.3):

- Tejidos que presenten cicatriz o tejido desvitalizado por tratamiento de radioterapia u otro tipo de radiaciones ionizantes (al aumentar drásticamente el riesgo de provocar una quemadura).
- Sujetos con un nivel reducido de conciencia o comprensión de los peligros del tratamiento.
- Algunas enfermedades agudas de la piel, como dermatitis o eccema.
- Aplicación sobre los testículos.
- Quemaduras cutáneas y heridas abiertas, por el efecto de la radiación IR sobre la formación de adherencias.
- Enfermedad cardiovascular no controlada, especialmente en aplicaciones generales, y alteraciones circulatorias locales, varices dilatadas y tromboflebitis.
- Cuadros de hipotensión arterial en las aplicaciones generales.
- Cuadros febriles, procesos inflamatorios agudos e infecciosos.
- Alteraciones de la sensibilidad en la zona corporal de tratamiento.
- Derrames intraarticulares, hematomas recientes y edemas importantes.



FIGURA 9.3 Lámpara de infrarrojos y detalle del foco.

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La radiación UV se localiza entre el color violeta y los rayos X de menor energía, con valores comprendidos entre los 400 y 200 nm. Esta banda justifica la variabilidad de efectos biológicos atribuidos a la luz UV y sus propiedades fotoquímicas. Por esta razón, el intervalo mencionado se subdivide a su vez en tres niveles:

- Ultravioleta tipo A (UVA) (320 y 400 nm). La característica principal de esta banda es la de presentar una menor energía, lo que permite su utilización terapéutica. Posee la mayor capacidad de penetración y, aunque su acción biológica es escasa, es responsable de la pigmentación inmediata de la piel. Este efecto, junto con el tratamiento de la psoriasis, representa la mayor indicación de este tipo de radiación, por la capacidad para provocar pigmentación con un mínimo eritema (Krunsen Basford, 1997; Martínez Morillo et al, 2000d; Rulffs, 2005; Rodríguez-Granados et al, 2009).
- Ultravioleta tipo B (UVB) (290 y 320 nm). Esta banda, de mayor energía y eficacia biológica, produce un eritema de mayor nivel que, en muchas ocasiones, provoca una pigmentación retardada de la piel. Salvo en el ámbito dermatológico, por ejemplo, en el tratamiento del prurito urémico y algunos tipos de psoriasis, presenta escasas aplicaciones terapéuticas (Simpson y Davinson, 1981; Grundmann-Kollmann et al, 2004; Yones et al, 2006).
- Ultravioleta tipo C (UVC) (200 y 290 nm). Esta banda de espectro se caracteriza por ser la de mayor energía. No obstante, las capas de la atmósfera absorben casi su totalidad, lo que hace que no se encuentre en la superficie terrestre. En su irradiación artificial, mediante lámparas, su capacidad de penetración es muy escasa ya que queda absorbida en la capa más externa de la epidermis. Su aplicación terapéutica se centra, junto con la aplicación de

UVB, en el tratamiento de algunas úlceras por decúbito y micosis fúngicas, por su efecto bactericida y esterilizante (High y High, 1983; Nussbaum et al, 1994; Boztepe et al, 2005).

MÉTODOS DE APLICACIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Antecedentes

La radiación UV fue descubierta por J.W. Ritter, físico y fisiólogo alemán, en el año 1801. Como consecuencia de estudios y aplicaciones de franjas de radiación próximas al color violeta observó, a diferencia de emisiones de otros colores, un mayor efecto fotoquímico provocado por estas irradiaciones sobre sales de plata. Numerosos autores a lo largo del siglo XIX fueron capaces de comprobar el efecto bactericida derivado de la luz solar. No obstante, este efecto fotoquímico no podía ser atribuido a la radiación IR ya que se mostraba de forma más importante con longitudes de onda correspondientes con el color violeta. Inicialmente, a pesar de conocer este hecho, los autores no fueron capaces de producir este tipo de radiación de forma artificial y durante un largo período de tiempo estas aplicaciones tan sólo fueron posibles mediante la radiación solar (Belloch Zimmermann et al, 1972d). Posteriormente, un médico danés, N.R. Finsen, considerado como el padre de la técnica, reconocido con el Nobel de medicina en 1903, en el año 1890 dirigió sus estudios hacia la provocación del efecto bactericida. Este autor fue el primero capaz de aplicar esta radiación de forma artificial sobre enfermos de tuberculosis cutánea (Cameron, 2009c). A partir de este descubrimiento, acorde con el período y la época vivida, las experiencias clínicas se multiplicaron, aumentando el número y variedad de patologías tratadas gracias a la fabricación de lámparas de variados diseños. Un ejemplo es la lámpara de mercurio, base de los aparatos actuales, descubierta en 1892 por el físico alemán M.L. Arons.

Más tarde, a partir del primer cuarto del siglo XX, K. Huldsky, en 1919, fue capaz de corroborar el efecto antirraquítico, propiedad terapéutica por la que fue ampliamente empleada durante gran parte del siglo XX. Posteriormente, Windaus y Pohl, en 1925, demostraron en experiencias de laboratorio las propiedades antirraquíticas de la ergosterina y dihidrocolesterina, conocidas como vitaminas D₂ y D₃, respectivamente. Ambas poseen un claro efecto favorecedor sobre el metabolismo de absorción del calcio procedente de los alimentos, factor fundamental en la prevención y tratamiento del raquitismo infantil, así como en cuadros de osteoporosis y osteomalacia en adultos. Estas experiencias sentaron las bases terapéuticas para aplicaciones en gran número de enfermedades como la psoriasis, el raquitismo, la tuberculosis y la hiperbilirrubinemia (Licht, 1967). A pesar de que la gran mayoría de estas indicaciones actualmente han caído en desuso, hoy día conocemos que las aplicaciones derivadas de la radiación UV se centraron principalmente sobre sus efectos bactericida, antirraquítico y sobre el metabolismo del calcio. Hoy día, las escasas aplicaciones terapéuticas se concentran, fundamentalmente, sobre afecciones dermatológicas (Belloch Zimmermann et al, 1972d; Martínez Morillo et al, 2000d; Rulffs, 2005; Cameron, 2009c).

Técnica de aplicación

La emisión de radiación UV se produce mediante la excitación, en general gracias a una corriente eléctrica, del gas contenido en una lámpara, básicamente mercurio y argón. A lo largo del período cronológico en el que se han desarrollado fuentes de radiación de tipo artificial, su aplicación se ha realizado mediante diferentes tipos de lámparas con distintas prestaciones (Belloch Zimmermann et al, 1972d; Thom, 1974b; Igual Camacho, 1998; Martínez Morillo et al, 2000d; Rulffs, 2005).

Al igual que en otro tipo de aplicaciones, el paciente no está exento de efectos perjudiciales derivados de su empleo. Por este motivo, es necesario confirmar el cumplimiento de unas normas de aplicación y comprobar las posibles contraindicaciones. Al igual que en otros casos, la metodología de aplicación aconseja seguir un procedimiento estructurado en la comprobación

de aspectos importantes. En primer lugar, se aconseja encender la lámpara de forma previa a la colocación del paciente, con el fin de comprobar su funcionamiento antes de estar dispuesta sobre la superficie que va a tratarse. Es importante mantener en un estado de conservación y de limpieza el foco de la lámpara debido a la ligera alteración que sobre la emisión puede suponer el depósito de suciedad. Posteriormente, el paciente debe colocarse con la superficie corporal que se va a irradiar desnuda, lo que facilitará el examen de la piel y del tejido corporal para comprobar la presencia de irregularidades cutáneas. Una vez comprobado este aspecto, colocaremos la lámpara en posición vertical, con la superficie que va a irradiarse dispuesta en ángulo perpendicular, y cubriremos los ojos del paciente, preferiblemente con gafas protectoras. Asimismo, las zonas corporales no habituadas a la exposición, en especial las zonas genitales, mamas y alteraciones cutáneas de tipo cicatrices, deben ser también protegidas con toallas húmedas. En su defecto, se aconseja que la dosis de exposición sobre estas zonas se reduzca a 1/3 MED (dosis mínima de eritema).

Colocaremos la lámpara a una distancia media aproximada entre 70 y 100 cm, según diferentes autores (Low, 1986; Igual Camacho, 1998; Martínez Morillo et al, 2000d; Cameron, 2009c), antes de proceder al cálculo de la dosis necesaria terapéutica. La cantidad de energía viene determinada por factores como la potencia de la lámpara, la distancia de aplicación, el ángulo de incidencia entre el foco emisor y la superficie de la piel del paciente y, finalmente, el tiempo de exposición. Este último factor es el empleado para el cálculo de la dosis, ya que si el resto de variables se mantiene constante, los efectos derivados serán proporcionales al tiempo empleado.

Al igual que en el caso anterior, de la radiación IR, nos encontramos con el problema de la determinación rigurosa de la dosis. Las unidades de medida para el cálculo de la radiación recibida son: $\mu\text{W} \cdot \text{min} \cdot \text{cm}^2$ o el eV, aunque en la práctica se emplea la dosis de eritema grado I (Martínez Morillo et al, 2000d). En el caso de la dosificación, a diferencia de la radiación IR, nos podemos beneficiar de su acción biológica, derivada del efecto fotoquímico. La facilidad para provocar un eritema cutáneo, aunque de aparición diferida, es aprovechada para cuantificar la dosis de radiación según la tolerancia de la piel. Por tanto, todos los autores coinciden en el empleo de lo que se conoce como MED (Cameron, 2009c), definida como la radiación necesaria para provocar un grado de eritema mínimo con un período de latencia fijado entre las 8 y 12 horas tras la exposición. Manteniendo unas condiciones constantes, la MED permitirá reproducir de forma controlada esa misma dosis a lo largo de las sesiones terapéuticas prescritas. Se estima que 20 mJ/cm² con una longitud de onda de 300 nm, correspondiente a UVB, son suficientes para provocar un eritema grado I sobre una piel de raza caucásica (Tromovitch et al, 1963; Low, 1986).

De forma frecuente, para este cálculo suele reproducirse la metodología propuesta por Kovacs en el test del valor MED aplicado sobre la cara anterior del antebrazo. Se utiliza un material capaz de proteger de la exposición al que se le realizan diferentes orificios, de entre 1 y 2 cm², con posibilidad de abrir o cerrar dichas aberturas. La lámpara debe colocarse manteniendo las leyes físicas anteriormente expuestas: posición perpendicular y distancia fija entre el foco y la superficie del paciente.

Esta metodología aconseja la exposición de cada uno de los orificios con tiempos progresivamente decrecientes mientras el resto permanecen cerrados. Los tiempos más frecuentemente utilizados son 120, 60, 30 y 15 s. Estas exposiciones marcan unos tiempos acumulados de 240, 120, 60, 30 y 15 s para cada uno de los orificios del sensiómetro. Posteriormente, se respeta un período de latencia establecido entre 8 y 12 horas y se observa el grado de eritema provocado. El tiempo de exposición adecuado para el inicio del tratamiento será el que se corresponda con el eritema que desaparezca en un plazo aproximado de 24 horas, teniendo en cuenta que la tolerancia del individuo a la exposición aumenta con el paso de las sesiones y, por tanto, la dosis MED debe ser ajustada con el transcurso de los días (Low, 1986; Cameron, 2009c).

La técnica de aplicación puede ser total o parcial, y aplicada de forma individual o colectiva. En el caso de aplicaciones totales, el paciente se dispone en decúbito, alternando las posiciones de prono y supino, y protegiendo las zonas sensibles anteriormente comentadas (ojos, gónadas y mucosas). Se aconseja comenzar respetando el valor MED aunque, posteriormente, los

tiempos de exposición serán aumentados a razón de 1 minuto por sesión durante las 10 primeras aplicaciones, y 2 minutos por sesión hasta un máximo de 20 sesiones. La aplicación parcial consiste en la exposición de una región concreta, quedando el resto protegido. Asimismo, se aconseja un tratamiento en días alternos, hasta un total de 20 sesiones, con el fin de permitir la desaparición del eritema umbral. Una vez cumplido ese plazo se aconseja interrumpir el tratamiento durante un período aproximado de 6 semanas debido a la aparición del conocido como callo luminoso (Cameron, 2009c).

EFFECTOS FISIOLÓGICOS DERIVADOS DE SU APLICACIÓN

El mecanismo de producción de los efectos de acción biológica derivados de la radiación UV está basado en sus propiedades fotoquímicas. No obstante, también presenta otro tipo de efectos físico-químicos como la fluorescencia, la actividad fotoeléctrica y, aunque despreciable por su escaso valor, un ligero efecto térmico. Esta acción fotoquímica, ausente en la radiación IR, es capaz de activar o inhibir determinadas reacciones químicas que provocan los siguientes efectos fisiológicos:

Formación de eritema

La formación de eritema o enrojecimiento de la piel es consecuencia de la vasodilatación capilar y ésta está provocada por la acción directa de un proceso inflamatorio que estimula la liberación de histamina (Warin, 1978; Farr y Diffey, 1985). Este enrojecimiento cutáneo se produce con un ligero período de latencia que suele oscilar entre las 2 y las 6 horas, y es capaz de mantenerse hasta las 100 horas posteriores. En este proceso encontramos influencias de distintas variables que van a afectar en el tipo de eritema. Un aspecto importante es que la mayor intensidad de eritema se consigue con valores aproximados de 300 nm (correspondiente a UVB), tipo específico de radiación responsable de la mayoría de las acciones biológicas. No obstante, a pesar del tipo de radiación, existen variabilidades individuales que determinan la tolerancia al grado de eritema como la raza, el color de la piel, la edad y el sexo, entre otras. Del mismo modo, existe una variabilidad local por la que determinadas regiones corporales muestran distinta sensibilidad a la radiación debido a las diferencias de espesor en la capa córnea (Rulffs, 2005). Aparte del tipo de lámpara empleada y de la potencia de emisión, el factor cutáneo contribuye de forma relevante en el grado de eritema provocado. Existen diferentes fototipos cutáneos, atendiendo a características como el tipo de piel, el grado de eritema y la pigmentación. Éstos se clasifican en seis grupos, desde el color blanco, casi albino, hasta el color de piel oscura, correspondiente a la raza negra. Independientemente del fototipo del paciente, existen diversos grados de eritema:

- Dosis suberitema. No se aprecia ningún tipo de enrojecimiento cutáneo. Su efecto, principalmente, es sedante.
- Eritema grado I. Enrojecimiento ligero, visible a partir de un período de tiempo comprendido entre las 8 y 12 horas tras la exposición, y capaz de mantenerse durante 24 horas. Es provocado con una dosis equivalente a 1 MED, y provoca un efecto tónico.
- Eritema grado II. Similar al provocado por una quemadura solar de intensidad leve. Cursa con ligera sensación de escozor y es capaz de mantenerse visible durante un período 48-72 horas. Corresponde a una dosis de 2,5 MED, y su efecto es estimulante.
- Eritema grado III. Similar al provocado por una quemadura solar grave, equivalente a primer grado. Piel enrojecida, caliente y de aspecto edematoso. Provoca una sensación de picor elevada que precede a un proceso de descamación cutánea y pigmentación. La sintomatología puede durar hasta una semana. Es provocado con 5 MED y su efecto, principalmente, es inflamatorio.
- Eritema grado IV. Identificado como una quemadura solar muy grave que se acompaña con aparición de ampollas y proceso exudativo. Equivalente a 10 MED, correspondiente con una dosis bactericida y destructiva.

Pigmentación

Responde a la estimulación de los melanocitos debido a la transformación de la melanina. Al interaccionar ésta con el oxígeno sanguíneo y migrar desde capas profundas a la epidermis se produce la pigmentación de la piel. Su papel es protector contra nuevas exposiciones como respuesta al efecto destructivo de esta radiación. La pigmentación producida puede variar según el tipo de radiación empleada. Por un lado, la pigmentación sin eritema previo, provocada por las radiaciones UVA, es característica por su coloración rojizo-marrón y capaz de persistir durante un período de tiempo más prolongado. Este tipo de pigmentación es consecuencia de la oxidación sin aumento en la síntesis de melanina. Por otro lado, está la pigmentación posteritematosa que se debe al aumento de melanina por estimulación melanocitos. Este tipo de pigmentación, provocada por la radiación UVB, es conocida como verdadera melanogénesis y se caracteriza por su tono marrón pálido. Alcanza su pico entre el sexto y octavo día, y se mantiene de forma aproximada durante unos 15 días (Krunsen Basford, 1997; Rulffs, 2005; Cameron, 2009c).

Síntesis de vitamina D

Especial efecto poseen las radiaciones UV de onda media y larga sobre el raquitismo que fue descubierto en el año 1919 por K. Huldschinsky. Este fenómeno se justificó, en un primer momento, debido a la observación probada de que en zonas geográficas con una elevada tasa de radiación UV no existía esta enfermedad. Junto a esta observación, las experiencias de laboratorio, desarrolladas también durante el primer tercio del siglo xx, en las que tras la exposición de ciertos alimentos, especialmente la leche, éstos adquirían propiedades antirraquíticas. La esencia de este procedimiento terapéutico se basa en las provitaminas generadas de forma endógena gracias a la ingesta de determinados alimentos. Éstas, especialmente la ergosterina, se acumulan en las capas superficiales de la piel y son capaces de absorber la radiación UV para transformarse en vitamina D₃ mediante un proceso bioquímico. Esta vitamina es necesaria en el metabolismo del calcio y del fósforo. Por tanto, basado en este principio, a lo largo de la primera mitad del siglo xx, los déficits nutritivos causantes del raquitismo y un gran número de alteraciones óseas fueron tratados mediante estas aplicaciones. Hoy día, afortunadamente, estas irradiaciones carecen de sentido debido al aumento de calidad nutricional de la población. No obstante, esta técnica gozó de gran popularidad en España durante gran parte del siglo xx.

Acción bactericida

En 1887, A. Downes y T.P. Blunt fueron los primeros en observar el efecto germicida de la radiación solar. Más tarde, Finsen concluyó que ese efecto era atribuible a la radiación UV. Su aplicación terapéutica se centra en el tratamiento de las úlceras por decúbito y estados iniciales de micosis fúngicas. Su efecto se justifica por el aumento de circulación sanguínea y de la tasa de oxigenación de la piel. Salvo esta indicación, el resto de aplicaciones prácticas recaen en aspectos relacionados con la esterilización de espacios quirúrgicos, desinfección de salas de aislamiento y con la industria alimenticia. La propiedad germicida de la radiación UV se debe a la estimulación o inhibición de fermentos en función de la longitud de onda irradiada (High y High, 1983; Martínez Morillo et al, 2000d; Coronel-Pérez et al, 2007).

Hiperplasia epidérmica

Se trata de un engrosamiento de la epidermis con sentido protector, visible a partir de los 2-3 días, como respuesta a exposiciones repetidas. Esta hiperplasia es consecuencia del efecto favorecedor sobre la síntesis de ADN en células epidérmicas, en respuesta a la radiación, en especial UVB (Cameron, 2009c). Este proceso es reversible en un plazo aproximado de 6 semanas

desde la finalización de la exposición, razón por la que al cabo de un ciclo de tratamiento UV se recomienda suspender la aplicación, al menos, durante dicho período. Como consecuencia de esta agresión se produce lo que se conoce con el nombre de callo luminoso. Éste se define como un engrosamiento de la capa epidérmica por estimulación de la queratogénesis y está causada por una exposición repetida a la radiación. Esta adaptación justifica la necesidad de un aumento progresivo de los tiempos de exposición para provocar un eritema umbral. Existen estudios que indican que el máximo nivel de adaptación se produciría, de forma aproximada, hacia el noveno día. A partir de ese momento se observa una mayor tolerancia con un grado de eritema mucho menor (Rulffs, 2005). Este aspecto debe tenerse muy presente en las aplicaciones estéticas.

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

En su mayor parte, las aplicaciones de la radiación UV se centran en el ámbito de la dermatología (Kitchen y Partridge, 1991). A pesar de que no en todos los casos se ha demostrado una mayor eficacia que otros tipos de terapia, diferentes autores han estudiado los efectos beneficiosos sobre un gran número de patologías como micosis, prurito urémico, vitíligo, alopecia, acné, eccemas y dermatitis atópica o psoriasis (High y High, 1983; Lebowhl, 1997; Griffiths et al, 2000; Coronel-Pérez et al, 2007).

De todas ellas, la psoriasis es la afección que mayor protagonismo ocupa en las publicaciones médicas. Su terapéutica se ha sistematizado con diferentes procedimientos: de forma aislada con UVB; el conocido como terapia PUVA, formado por rayos UVA combinada con fármacos sensibilizantes derivados del psoraleno. También está el conocido como tratamiento de Goeckerman, basado en la combinación de alquitrán de hulla con radiaciones UV (Dressendörfer et al, 2006; Kortuem et al, 2007; Serrao y Davis, 2009). Este último tratamiento ha sido desplazado en la práctica clínica actual por encontrar resultados contradictorios y por la incomodidad de llevarlo a cabo. A pesar de que el PUVA, desde su implantación en la década de 1970, ha ocupado un mayor protagonismo a nivel práctico, actualmente, debido a sus efectos secundarios (aumento de cáncer de piel, entre otros [Patel et al, 2009]) parece que el enfoque terapéutico no lo aconseja. Éste enfoque se divide, en cuanto a estudios publicados, entre la irradiación con UVB y UVA, de forma aislada o mediante el empleo combinado de sensibilizadores (Klaber, 1980; Shurr y Zuenhlke, 1981; Honigsmann, 2001; Mendonça y Burden, 2003; Zanolli, 2003; Lapolla et al, 2011).

La dosis aconsejada para su tratamiento varía entre la estimulante o inflamatoria, provocada con un eritema grado II, 2,5 MED, y un eritema grado III, 5 MED, respectivamente. La metodología aconseja un total de 20 sesiones, con incrementos que varían entre el 10 y el 50% del tiempo de exposición por sesión, aplicado con una frecuencia comprendida entre tres y cinco veces por semana, siempre que haya desaparecido el eritema anterior (Cameron, 2009c). No obstante, en numerosas ocasiones se planifican varios ciclos de tratamiento a lo largo del año para actuar sobre la frecuencia de los brotes.

Los eccemas, las dermatitis atópicas (Reynolds et al, 2001; Gottlieb, 2005) y el acné también han sido enfermedades hacia las que se ha dirigido la terapéutica con UVA y UVB en el pasado. De igual modo, estos trastornos son tratados con dosis de eritema grado II-III, con el fin de provocar un proceso inflamatorio que controle la infección, así como un secado y proceso de descamación en la piel. A pesar de su beneficioso efecto en algunos casos, actualmente, la eficacia demostrada por otro tipo de terapias, entre las que destaca la terapia fotodinámica o el láser, combinadas con el tratamiento médico desarrollado, así como las limitaciones de sus efectos y las numerosas contradicciones son responsables de su dudosa eficacia terapéutica (Mills y Klikman, 1978; Dreno, 2004; García Morales, 2009; Sakamoto et al, 2010; Webster, 2010). También son frecuentes los estudios publicados sobre el efecto beneficioso de la UV en el tratamiento de úlceras crónicas y heridas. Éstas, generalmente, son tratadas con una dosis estimulante de 2 a 2,5 MED, por su acción bactericida en caso de infección, así como por su efecto favorecedor sobre la microcirculación y sobre la tasa de regeneración epitelial.

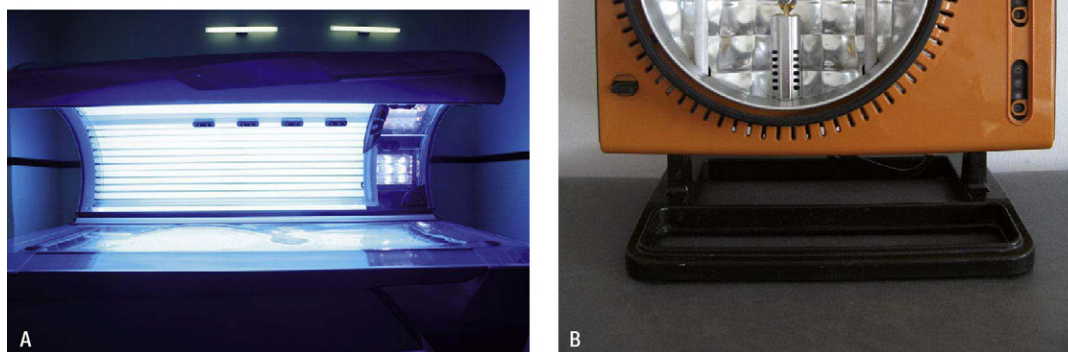


FIGURA 9.4 A: banco de tratamiento ultravioleta; B: lámpara solar de IR y UV.

En especial cuando fracasa la medicación antibiótica o como complemento al tratamiento médico (Nussbaum et al, 1994; Rioja del Toro, 1996). Otros estudios prueban el efecto de la radiación UV en el caso de déficits de vitamina D o procesos que cursen con alteraciones del metabolismo del calcio como prevención de fracturas por osteoporosis, osteomalacia u osteomielitis (Lanham-New, 2009).

Otro tipo de indicaciones, de carácter general, son el aumento de los niveles defensivos del cuerpo; estados de convalecencia; anemias o cuadros de agotamiento generalizado, por el fortalecimiento general corporal ante infecciones; estados depresivos, y alteraciones del sistema nervioso vegetativo y del sistema endocrino (Rulffs, 2005). Finalmente, el efecto probado sobre la pigmentación cutánea supone la mayor indicación dentro del ámbito de la estética y los tratamientos de belleza.

Los principales peligros derivados de la exposición UV son, principalmente, el exceso de dosis, que puede llegar a producir desde dermatitis solar hasta un eritema grave o, incluso, alteraciones oculares, degeneración cutánea y un mayor riesgo de padecer melanoma. Debemos prestar especial atención y reducir la dosis de aplicación sobre pacientes que se encuentren bajo tratamiento con sustancias fotosensibilizantes (sulfamidas, tetraciclinas, quinidinas o psolarenos), así como a la preparación del área circundante a la lesionada. Ésta debe protegerse de forma adecuada para evitar una exposición no controlada. Del mismo modo, alteraciones cutáneas, cicatrices o injertos deberán ser también protegidos para evitar la exposición UV.

Las contraindicaciones que deben tenerse en cuenta en el examen y exploración del paciente son las siguientes: irradiación en ojos o sobre cicatrices, cáncer de piel, tuberculosis pulmonar, cardiopatía, nefropatía y hepatopatía crónicas, hipertensión, lupus eritematoso sistémico, cuadros febriles o infecciosos, hipertiroidismo, fototoxicidad o tratamiento con productos fotosensibilizantes, urticaria solar, xeroderma pigmentoso, sarcoide y erupciones por herpes (Krunsen Basford, 1997; Martínez Morillo et al, 2000d; Rulffs, 2005; Cameron, 2009c) (fig. 9.4).

Bibliografía

- Armenta Peinado JA. Climatoterapia y Helioterapia. En: Aramburu de Vega C, Muñoz Díaz E, Igual Camacho C (eds.). Electroterapia, termoterapia e hidroterapia. Madrid: Síntesis; 1998. p. 301-8.
- Bachem A, Reed CI. The penetration of light through human skin. *Am J Physiol* 1931;1(97):86-91.
- Belloch Zimmermann V, Caballé Lancry C, Zaragoza Puelles R. Fototerapia. En: Belloch Zimmermann V (ed.). Manual de terapéutica física y radiología. (3.ª ed.) Valencia: Saber; 1972a. p. 187-99.
- Belloch Zimmermann V, Caballé Lancry C, Zaragoza Puelles R. Helioterapia. En: Belloch Zimmermann V (ed.). Manual de terapéutica física y radiología. (3.ª ed.) Valencia: Saber; 1972b. p. 249-62.
- Belloch Zimmermann V, Caballé Lancry C, Zaragoza Puelles R. Radiación infrarroja. En: Belloch Zimmermann V (ed.). Manual de terapéutica física y radiología. (3.ª ed.) Valencia: Saber; 1972c. p. 200-13.
- Belloch Zimmermann V, Caballé Lancry C, Zaragoza Puelles R. Radiación ultravioleta. En: Belloch Zimmermann V (ed.). Manual de terapéutica física y radiología. (3.ª ed.) Valencia: Saber; 1972d. p. 214-48.
- Boztepe G, Sahin S, Ayhan M, Erkin G, Kolemen F. Narrowband ultraviolet B phototherapy to clear maintain clearance in patients with mycosis fungoides. *J Am Acad Dermatol* 2005;53(2):242-6.
- Cameron MH. Radiación electromagnética: láseres y luz. En: Cameron MH (ed.). Agentes físicos en rehabilitación. De la investigación a la práctica. (3.ª ed.) Barcelona: Elsevier; 2009. p. 346-69.
- Cameron MH. Agentes térmicos: frío y calor. En: Cameron MH (ed.). Agentes físicos en rehabilitación. De la investigación a la práctica. (3.ª ed.) Barcelona: Elsevier; 2009. p. 370-84.
- Cameron MH. Radiación ultravioleta. En: Cameron MH (ed.). Agentes físicos en rehabilitación. De la investigación a la práctica. (3.ª ed.) Barcelona: Elsevier; 2009. p. 385-92.
- Coronel-Pérez IM, Carrizosa-Esquivel AM, Camacho-Martínez F. Narrow band UVB therapy in early stage micosis fungoides. A study of 23 patients. *Actas Dermosifiliorg* 2007;98:259-64.
- Crockford GW, Hellon RF. Vascular responses of human skin to Infrared Radiation. *J Physiol* 1959;149:424-32.
- Danno K, Mori N, Toda K, Kobayashi T, Utani A. Near-infrared irradiation stimulates cutaneous wound repair: laboratory experiments on possible mechanisms. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2001;17(6):261-5.
- Dover JS, Philips TJ, Arndt KA. Cutaneous effect and therapeutic uses of heat with emphasis on infrared radiation. *J Am Acad Dermatol* 1989;20:278-86.
- Dreno B, Sigurdsson V, Knulst AC, Van Weelden H. Phototherapy of acne vulgaris with visible light. *Dermatology* 1997;194:256-60.
- Dreno B, Acne. Physical treatment. *Clin Dermatol* 2004;22:429-33.
- Dressendörfer LM, Jervis C, Palacios S. Eficacia terapéutica con el método de Goeckerman en pacientes con psoriasis en placas. *Rev Argent Dermatol* 2006;87:238-46.
- Farr P, Diffey B. The erythermal response of human skin to ultraviolet radiation. *Br J Dermatol* 1985;113:65-76.
- Fleck U. Infrared in relation to skin and underlying tissue: A bibliography. Technical Information Division. Washington DC: Library of Congress; 1952.
- Gale GD, Rothbart PJ, Li Y. Infrared therapy for chronic low back pain: a randomized, controlled trial. *Pain Res Mgmt* 2006;11(3):193-6.
- García Morales I. Láser y terapia fotodinámica en el tratamiento del acné. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina. Madrid: Universidad de Alcalá; 2009.
- Garg S, Messenger AG. Alopecia Areata: Evidence-Based Treatments. *Semin Cutan Med Surg* 2009;28(1):15-8.
- Gonzales de Prada EM. Hiperbilirrubinemia neonatal. *Rev Soc Bol Ped* 2005;44(1):26-35.
- Gottlieb AB. Therapeutic options in the treatment of psoriasis and atopic dermatitis. *J Am Acad Dermatol* 2005;53(1):S3-S16.
- Griffiths CE, Clark CM, Chalmers RJ. A systematic review of treatments for severe psoriasis. *Health Technology Assessment* 2000;4(40):1-125.
- Grimes PE. New insights and new therapies in vitiligo. *JAMA* 2005;293(6):730-5.
- Grundmann-Kollmann M, Ludwig R, Zollner TM, Ochsendrof F, Thaci D, Boehncke W, et al. Narrowband UVB and cream psoralen-UVA combination therapy for plaque-type psoriasis. *J Am Acad Dermatol* 2004;50(5):734-9.
- Gul A, O'Sullivan ST. Iatrogenic burns caused by infrared lamp after traditional acupuncture. *Burns* 2005;31:1061-2.
- Healy E, Rogers S. PUVA treatment for alopecia aerata – Does it work? A retrospective review of 102 cases. *Br J Dermatol* 1993;129:42-4.
- Hendler E, Crosby R, Hardy JD. Measurement of heating of the skin during exposure to infrared radiation. *J appl Physiol* 1958;12:177.
- High AS, High JP. Treatment of infected skin wounds using ultraviolet radiation: an in-vitro study. *Physiotherapy* 1983;69(10):359-60.
- Honigsmann H. Phototherapy for psoriasis. *Clin Exp Dermatol* 2001;26(4):343-50.
- Hyland DB, Kirland VJ. Infra-red therapy for skin ulcers. *Am J Nurs* 1980;10:1800-1.
- Igual Camacho C. Fototerapia. In: Aramburu de Vega C, Muñoz Díaz E, Igual Camacho C. Electroterapia, termoterapia e hidroterapia. Madrid: Síntesis; 1998. p155- 64.
- Kitchen S, Partridge CJ. Infrared therapy. *Physiotherapy* 1991a;77(4):249-54.
- Kitchen S, Partridge CJ. A review of ultraviolet radiation therapy. *Physiotherapy* 1991b;77(10):423-32.
- Kitchen S. Infrared Irradiation. En: Kitchen S, Bazin S (eds.). Clayton's Electrotherapy. (10th ed.) WB Saunders Company Ltd: London; 1996. p. 143-53.
- Klaber MR. Ultra-violet light for psoriasis. *Physiotherapy* 1980;66:36-8.

- Knight CA, Rutledge CR, Cox ME, Acosta M, Hall SJ. Effect of superficial heat, deep heat, and active exercise warm-up on the extensibility of the plantar flexors. *Phys Ther* 2001;81(6):1206-14.
- Kortuem K, Davis M, Witman P, McEvoy M. Results of Goeckerman treatment for psoriasis in children: a 20-year retrospective review. *J Am Acad Dermatol* 2007;56(2). AB9.
- Kramer JF. Ultrasound: evaluation of its mechanical and thermal effects. *Arch Phys Med Rehabil* 1984;65:223-7.
- Krunsen Basford JR. Terapéutica con radiación ultravioleta. En: Kottke FJ, Lehmann JF (eds.). *Medicina física y rehabilitación*. Madrid: Panamericana; 1997. p. 381-7.
- Lanham-New SA. Role of calcium in the prevention (and treatment) of osteoporotic fracture. *Surgery* 2009;27(2):47-54.
- Lapolla W, Yentzer BA, Bagel J, Halvorson CR, Feldman SR. A review of phototherapy protocols for psoriasis treatment. *J Am Acad Dermatol* 2011;64(5):936-49.
- Lebowhl M. New treatments for alopecia areata. *Lancet* 1997;349(25):22-223.
- Lehmann JF, Silverman DR, Baum BA, Kirk NL, Johnston VC. Temperature distributions in the human thigh, produced by infrared, hot pack and microwave applications. *Arch Phys Med Rehabil* 1966;47(5):291-9.
- Lehmann JF, Masock AJ, Warren CG, Koblanski JN. Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility. *Arch Phys Med Rehabil* 1970;51(8):481-7.
- Lehmann JF, De Lateur JB. Therapeutic heat. En: Lehman JF (ed.). *Therapeutic Heat and Cold*. (4th ed.) Baltimore: Williams & Wilkins; 1990. p. 417-581.
- Licht S. History of ultraviolet therapy. En: Licht S (ed.). *Electricity and ultraviolet radiation*. Baltimore: Waverly Press; 1967. p. 31-53.
- Low J. Quantifying the erythema due to UVR. *Physiotherapy* 1986;72:60-4.
- Low J, Bazain S, Docker M, Dyson M, Kirk D, Kitchen S, et al. Guidelines for the safe use of infra-red and radiant heat therapy. *Physiotherapy* 1992;8(7):499-500. 7.
- Mandel A, Haberman HF, Pawlowski D, Goldstein E. Non PUVA nonsurgical therapies for vitiligo. *Clin Dermatol* 1997;15:907-19.
- Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F. Fototerapia. En: Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F (eds.). *Manual de Medicina Física*. Barcelona: Harcourt; 2000a. p. 232-43.
- Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F. Radiación infrarroja. En: Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F (eds.). *Manual de Medicina Física*. Barcelona: Harcourt; 2000c. p. 245-53.
- Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F. Radiación ultravioleta. En: Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F (eds.). *Manual de Medicina Física*. Barcelona: Harcourt; 2000d. p. 276-85.
- Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F. Helioterapia, talasoterapia y climatoterapia médica. En: Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F (eds.). *Manual de Medicina Física*. Barcelona: Harcourt; 2000b. p. 411-22.
- Masuda A, Kihara T, Fukudome T, Shinsato T, Minagoe s, Tei Ch. The effects of repeated thermal therapy for two patients with chronic fatigue syndrome. *J Psychosom Res* 2005;58:383-7.
- Maya J, Albornoz M. Electroterapia. Secretariado de Recursos Audiovisuales y Nuevas tecnología. Universidad de Sevilla; 2009.
- Melia Oliva JF. Historia de la Fisioterapia. Valencia: I.C.O.F.C.V; 2008.
- Mendonça CO, Burden AD. Current concepts in psoriasis and its treatment. *Pharmacol Ther* 2003;99:133-47.
- Michlovit SL. Thermal Agents in Rehabilitation. *Contemporary Perspectives in Rehabilitation*, Volume 1. Philadelphia: F.A. Davies Company; 1986.
- Mills OH, Klikman AM. Ultraviolet phototherapy and photochemotherapy of acne vulgaris. *Arch Dermatol* 1978;114:221-3.
- Moss C, Ellis R, Murray W, Parr W. Infrared Radiation. *Nonionising Radiation Protection* (2nd ed.). European Series: WHO Regional Publications; 1989. n.º 25.
- Nicolaidou E, Antoniou C, Stratigos A, Katsambas AD. Narrowband ultraviolet B phototherapy and 308-nm excimer laser in the treatment of vitiligo: A review. *J Am Acad Dermatol* 2009;60(3):470-7.
- Nussbaum EL, Biemann I, Mustard B. Comparison of ultrasound/ultraviolet-C and laser for treatment of pressure ulcers in patients with spinal cord injury. *Phys Ther* 1994;74:812-23.
- Orenberg EK, Noddleman FR, Koperski JA, Pounds D, Farber EM. Comparison of heat delivery systems for hyperthermia treatment of psoriasis. *Int J Hyperthermia* 1986;2(3):231-41.
- Patel RV, Clark LN, Lebowhl M, Weinberg JM. Treatments for psoriasis and the risk of malignancy. *J Am Acad Dermatol* 2009;60(6):1001-17.
- Plaja J. Analgesia por medios físicos. Madrid: McGraw-Hill; 2003.
- Reynolds NJ, Franklin V, Gray JC, Diffey PL, Farr PM. Narrow-band ultraviolet B and broad-band ultraviolet A phototherapy in adult atopic eczema: a randomized controlled trial. *Lancet* 2001;357(9273):2012-6.
- Rioja del Toro J. Electroterapia y Electrodiagnóstico (2.ª ed.). Portugal: Sanofi Winthrop; 1996.
- Robertson VJ, Ward AR, Jung P. The effect of heat on tissue extensibility: a comparison of deep and superficial heating. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86(4):819-25.
- Rodríguez-Granados MT, Pereira-Rodríguez MJ, Vázquez-Vizosoc FL. Therapeutic effectiveness of psoralen-UV-A bath therapy in psoriasis. *Actas Dermosifiliogr* 2009;100:212-21.
- Rodríguez Martín JM. Electroterapia en Fisioterapia (2.ª ed.). Madrid: Médica Panamericana; 2004.
- Rulffs W. Fototerapia. En: Hütter-Becker A, Schewe H, Heipertz W, Terapia física. Barcelona, Paidotribo; 2005;225-43.
- Sakamoto FH, Lopes JD, Anderson R. Photodynamic therapy for acne vulgaris: A critical review from basis to clinical practice. Part I. Acne vulgaris: when and why consider photodynamic therapy? *J Am Acad Dermatol* 2010;63(2):183-93.

- Schmidt KL, Ott VR, Röcher G, Schaller H. Heat, cold and inflammation. *Z Rheumatol* 1979;38(11-12):391-404.
- Selkins KM, Emery AF. Therapeutic Heat and Cold. En: Lehmann F (ed.). *Therapeutic Heat and Cold*. (3^{ra} ed.) Baltimore: Williams and Wilkins; 1982.
- Serrao R, Davis M. Goeckerman treatment for remission of psoriasis refractory to biologic therapy. *J Am Acad Dermatol* 2009;60(2):348-9.
- Shurr DG, Zuenhlke RL. Photochemotherapy treatment for psoriasis. *Phys Ther* 1981;62:33-6.
- Simpson NB, Davinson AM. Ultraviolet phototherapy for uraemic pruritus. *Lancet* 1981;317(4):781.
- Sjovall P, Christensen O. Local and systemic effect of UV-B irradiation in patients with chronic hand eczema. *Acta Dermatol Venereol* 1987;67:538-41.
- Thom H. Termoterapia. En: Cotta H, Heipertz W, Teirichleube H, (eds.). *Tratado de rehabilitación: estudio preventivo, médico, laboral y social, Vol.II*. Barcelona: Labor; 1974a. p. 42-7.
- Thom H. Fototerapia. Cotta H, Heipertz W, Teirichleube H, (eds.). *Tratado de rehabilitación: Estudio preventivo, médico, laboral y social, Vol.II*. Barcelona: Editorial Labor; 1974b. p. 48-51.
- Tromovitch TA, Thompson LR, Jacobs PH. Testing for photosensitivity. *J Am Phys Ther Assoc* 1963;143:348-9.
- Tsai J, Hsiao S, Wang S. Infrared irradiation has potential antidepressant effect. *Prog Neuro-Psychopharmacol Biol Psychiatr* 2007;31:1397-400.
- Usuba M, Miyanaga Y, Miyakawa S, Maeshima T, Shirasaki Y. Effect of heat in increasing the range of knee motion after the development of a joint contracture: an experiment with an animal model. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87(2):247-53.
- Warin AP. The ultraviolet erythemas in man. *Br J Dermatol* 1978;98:473-7.
- Watson T. *Electroterapia basada en la evidencia* (12.ª ed.). Barcelona: Elsevier; 2009.
- Webster GF. Light and laser therapy for acne: sham or science? Facts and controversies. *Clin Dermatol* 2010;28:31-3.
- Westerhof W, Siddiqui AH, Cormane RH, Scholten A. Infrared hyperthermy and psoriasis. *Arch Dermatol Res* 1987;279:209-10.
- Yones SS, Palmer RA, Garibaldinos TT, Hawk JL. Randomized double-blind trial of the treatment of chronic plaque psoriasis: efficacy of psolaren-UV-A therapy vs narrowband UV-B therapy. *Arch Dermatol* 2006;142(7):836-42.
- Zanolli M. Phototherapy treatment of psoriasis today. *J Am Acad Dermatol* 2003;49(Suppl):S78-86.

Masoterapia

Adelaida M.^a Castro Sánchez*, **Nuria Sánchez Labraca***,
María Encarnación Aguilar Ferrándiz**

*Doctora por la Universidad de Almería. Profesora del Departamento de Enfermería y Fisioterapia de la Universidad de Almería

**Profesora del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Granada

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Introducción 209

Efectos fisiológicos generales 210

- Efectos sobre la piel 210
- Efectos sobre el músculo 211
 - Musculatura estriada 211
 - Musculatura lisa 211
- Efectos sobre el sistema vascular 211
 - Circulación arterial 212
 - Circulación venosa 212
 - Circulación linfática 212
- Efectos sobre el sistema nervioso 212
 - Formación reticular 212
 - Inhibición del dolor 212
 - Respuesta vegetativa 213
- Efectos psicológicos 213

Metodología de aplicación 213

- Posicionamiento en el masaje 214
- Equipamiento 214
- Preparación de las manos 215
- Condiciones generales 215
- Duración y frecuencia del tratamiento 216

Maniobras clásicas de masoterapia 216

- Procedimientos de masoterapia superficial 216
- Roce superficial 216

Presión superficial 217

Frotaciones superficiales 217

Procedimientos de masoterapia media 218

Rodamiento 218

Vaciado venoso 219

Procedimientos de masoterapia profunda 220

Frotaciones profundas 220

Fricción 221

Amasamiento 223

Pellizcamiento 223

Percusión 224

Presión profunda 225

Vibraciones 226

Sacudidas 227

Indicaciones 228

- Tejido muscular 228
- Tejido conjuntivo 228
- Circulación 229
- Sistema nervioso 229
- Otras indicaciones 229

Precauciones generales 229

Contraindicaciones 230

- Contraindicaciones absolutas 230
- Contraindicaciones relativas 230

209

INTRODUCCIÓN

El origen del término masaje puede atribuirse a distintas fuentes:

- La raíz griega *masso*, que significa tocar o manipular, pero también amasar o apretar.
- La raíz latina *massa*, que procede del griego *masso* y significa masa.
- La raíz árabe *mass'h* o *mass*, que significa presionar con suavidad.

El masaje es un procedimiento de fisioterapia y se define como el conjunto de movimientos sistemáticos manuales o mecánicos practicados sobre los tejidos blandos del cuerpo humano mediante la utilización de diferentes técnicas (como la fricción, el amasamiento, la compresión, etc.), y que presentan fines terapéuticos como la reactivación de la circulación sanguínea y linfática, la relajación muscular, el alivio del dolor, la recuperación del equilibrio metabólico y otros beneficios tanto físicos como mentales. Se considera un procedimiento único para el tratamiento de diferentes dolencias y situaciones (Beck, 2000).

El masaje terapéutico es la disciplina científica que hace referencia a la modalidad de masaje destinada al tratamiento de procesos patológicos en individuos enfermos y lesionados, en la que las maniobras serán dirigidas a tratar las molestias y lesiones que previamente han sido diagnosticadas, y que deben ser realizadas por fisioterapeutas para garantizar la eficacia del tratamiento (Fritz, 2005).

EFFECTOS FISIOLÓGICOS GENERALES

Bajo la acción terapéutica o preventiva del masaje se pueden conseguir efectos fisiológicos muy diversos sobre el organismo. Estos efectos pueden ser diferentes dependiendo de las distintas técnicas y maniobras que se apliquen, o de que el masaje se efectúe de forma local o general sobre el paciente. Estos efectos fisiológicos obedecen a mecanismos de naturaleza refleja, resultado del estímulo cutáneo que se origina a través del sistema nervioso autónomo, o de índole mecánica cuando el efecto se debe directamente a la presión producida por el masaje realizado. Entre los efectos fisiológicos del masaje podemos destacar los siguientes:

EFFECTOS SOBRE LA PIEL

La primera estructura orgánica del sujeto/paciente que se encuentra al dar el masaje es la piel. Ésta está dotada de una gran red de inervación sensitiva y, por ello, la respuesta directa o refleja que se va a encontrar va a ser muy importante. Al aplicar el masaje se van a provocar cambios nerviosos y humorales.

En primer lugar, la *respuesta nerviosa* es consecuencia de un aumento de estímulos sensitivos (térmicos, táctiles, dolorosos, cinéticos) que van a estimular el sistema nervioso a distintos niveles:

1. Excitación de las células nerviosas: esta reacción se produce en las arteriolas con la liberación de adrenalina.
2. Reflejo axónico.
3. Reflejo medular simple.
4. Reflejo simpático.
5. Reflejo medulosimpático.

Todos estos reflejos van a provocar una respuesta vasomotora modulada en el tiempo y con una duración determinada, según el tipo de masaje aplicado.

En segundo lugar, la *respuesta humoral* producirá:

1. Activación de las terminaciones simpáticas liberando sustancias vasoconstrictoras (adrenalina) segregadas por la médula suprarrenal y las fibras terminales simpáticas.
2. Activación de las terminaciones parasimpáticas liberando sustancias vasodilatadoras como la acetilcolina, que se encuentra en las fibras terminales del nervio parasimpático, y la histamina, que va a provocar una vasodilatación y un aumento de la permeabilidad capilar permitiendo el paso de determinados componentes hemáticos a los tejidos.

Tanto la respuesta nerviosa como la humoral van a provocar un aumento del metabolismo celular y, como consecuencia, una mayor producción de sustancias metabólicas, con lo que se

acelera el intercambio arteriovenoso y la salida de productos al espacio intersticial. Esta vasodilatación provoca un incremento del flujo sanguíneo (hiperemia), que podrá ser de mayor o menor intensidad dependiendo de la fuerza y de la modalidad con la que se haya aplicado el masaje (Sorube et al, 1999; Torres, 2006).

Algunos autores afirman que el masaje actúa de forma directa sobre las capas superficiales de la epidermis haciendo más eficaz la función de las glándulas sebáceas y sudoríparas mediante dos mecanismos: mejorando la permeabilidad de los orificios de estas glándulas y favoreciendo la circulación sanguínea y linfática (Castro-Sánchez et al, 2011).

EFFECTOS SOBRE EL MÚSCULO

Los efectos fisiológicos del masaje sobre los músculos los vamos a dividir dependiendo del tipo de fibra muscular:

Musculatura estriada

La aplicación del masaje sobre el tejido muscular estriado (músculo esquelético) puede provocar cambios en el tono, la elasticidad y la contractilidad del músculo. Las diferentes maniobras utilizadas durante la aplicación de un masaje van a producir un aumento del flujo sanguíneo por mecanismos similares a los que se producían en la piel, dando lugar al aumento de intercambio arteriovenoso con salida de catabolitos, o elementos de desecho, hacia el espacio intersticial y que son recogidos por los capilares venosos ayudando a su eliminación. Este mecanismo produce un aumento de sangre arterial rica en oxígeno, con lo que se logra la normalización del estado en el tejido muscular al provocar una mejora del trofismo en el músculo.

Los efectos del masaje relacionados con la relajación muscular posiblemente se consigan mediante una disminución de la excitabilidad de la motoneurona $A\alpha$, que puede contribuir a aliviar los espasmos musculares y, posiblemente, a interrumpir el círculo dolor-tensión-dolor.

Hemos de tener en cuenta que si el masaje es superficial se conseguirá poco efecto sobre el vientre muscular; por el contrario, si se realiza un masaje profundo sí que encontraremos mayores efectos a esta localización. Si las maniobras que usamos para aplicar el masaje se realizan de manera brusca y vigorosa se estimulará el músculo, y por consiguiente, provocaremos un mayor efecto contráctil. En cambio, si las maniobras del masaje se aplican de manera lenta, suave y profunda conseguiremos un efecto relajante (Sorube et al, 1999; Torres, 2006). Aunque la guía europea para el tratamiento del dolor lumbar crónico inespecífico no recomienda el empleo del masaje por carecer de una evidencia científica clara, pensamos que esto se debe a que muchos de los estudios realizados con esta modalidad terapéutica se han realizado de forma poco rigurosa metodológicamente hablando, pero no por ello deja de tener una clara evidencia clínica (Airaksinen et al, 2006).

Musculatura lisa

El masaje también se puede aplicar en la musculatura lisa; se emplea en especial en la musculatura digestiva, a la altura de las asas del intestino grueso. El masaje que se realiza en el aparato digestivo puede provocar un efecto relajante y analgésico, si las maniobras aplicadas siguen la dirección de evacuación del intestino hacia el recto, o bien puede tener un efecto estimulante aumentando el peristaltismo por presión y vibración sobre sus paredes (Sorube et al, 1999).

EFFECTOS SOBRE EL SISTEMA VASCULAR

Son bien conocidos los efectos que el masaje produce sobre el sistema vascular. A continuación vamos a describirlos por separado, atendiendo a la repercusión que tienen sobre la circulación arterial, venosa y linfática, y teniendo en cuenta que dichos efectos son concomitantes (Cassar, 2001; Clay y Pounds, 2003; Fernández, 2008).

Circulación arterial

Se produce un aumento del flujo sanguíneo arterial y arteriolar; llega un mayor aporte de nutrientes a la zona en la que se aplica el masaje. Del mismo modo se favorece la eliminación de productos de desecho metabólico acumulados, derivados de la inflamación o del daño tisular, con lo que mejora el trofismo de estos tejidos. En los capilares se van a producir ciertas modificaciones; en un primer momento se provoca una vasoconstricción seguida de una vasodilatación y, como consecuencia, se provoca un aumento de sangre y una mejora del trofismo tanto en la piel como en los tejidos subyacentes (Jingxi y Huangui, 2003).

Circulación venosa

Se produce una mejora en la circulación de retorno venoso si el masaje se aplica en sentido centrípeto, consiguiendo de este modo un mayor rendimiento de las válvulas. Los mecanismos por los que puede producirse el aumento del flujo sanguíneo se han relacionado con la acción mecánica debida a la compresión-descompresión de los tejidos, ejerciendo un efecto de bombeo, así como con una vasodilatación mediada por sustancias químicas o por la acción del sistema nervioso autónomo (Peinado, 2005).

Circulación linfática

El posible efecto sobre la linfa se deriva de que los vasos linfáticos nacen a nivel cutáneo, por lo que los estímulos del masaje sobre la piel aceleran la circulación linfática y su efecto de drenaje. La linfa puede moverse en cualquier dirección en los capilares y plexos linfáticos de la piel y tejido subcutáneo; su movimiento depende de fuerzas extrínsecas al sistema linfático, como la gravedad, la contracción muscular, el movimiento pasivo o el masaje. Cuando los linfáticos profundos de una región se obstruyen parcialmente, es posible mantener abiertos los superficiales si se aplica un masaje a la parte afectada; si se le da a la linfa la oportunidad de drenar por gravedad, ésta progresará por estos canales superficiales en la dirección de la fuerza externa (Cassar, 2001; Fritz, 2005). Por todo ello, existen evidencias científicas que avalan que los procedimientos de masoterapia, y más concretamente de drenaje linfático manual, están especialmente indicados para el tratamiento del linfedema (Castro-Sánchez et al, 2011).

EFFECTOS SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO

El masaje provoca grandes repercusiones a nivel del sistema nervioso. En este apartado nos centraremos en tres aspectos fisiológicos muy importantes:

Formación reticular

El masaje modifica su función dependiendo de la modalidad empleada y de su ejecución. Así, aumenta la actividad del cerebro al realizar maniobras bruscas o cuando al cerebro llegan estímulos bruscos y repentinos. Por el contrario, cuando los estímulos son rítmicos y suaves también se encarga de provocar el sueño, así como la relajación física y mental.

Inhibición del dolor

Este efecto se puede provocar desde diferentes mecanismos. Uno de los mecanismos de producción del dolor consiste en una vasoconstricción local que genera una mayor concentración de metabolitos, entre los que se va a encontrar la bradiginina, responsable de estímulos nociceptivos, así como sustancias inflamatorias que son la causa principal del dolor en lesiones tendinosas y articulares. Por ello, el objetivo terapéutico del masaje será aumentar el flujo sanguíneo en aquellas zonas isquémicas, así como drenar las sustancias algógenas, responsables del dolor,

porque el masaje favorece la circulación y aumenta el transporte y difusión de las sustancias calmantes del dolor.

Otro mecanismo utilizado para conseguir disminuir la percepción dolorosa, además de los procedimientos de masoterapia clásica, es el empleo conjunto de maniobras de masaje con la aplicación de frío o de calor, debido a que los estímulos nociceptivos comparten vías sensitivas con los de la temperatura. El masaje va a provocar una relajación del sistema nervioso central a través de la formación reticular (como ya se ha comentado), al inducir la relajación del paciente.

Respuesta vegetativa

El efecto más frecuente que se experimenta con el masaje es la sensación de bienestar general, que depende de la actividad vegetativa. La relajación que proporciona el masaje actúa indirectamente sobre el sistema nervioso vegetativo, y en especial sobre el sistema autónomo parasimpático. Mediante el masaje se van a liberar en la piel y en el tejido subcutáneo histamina y acetilcolina; dependiendo de dónde actúen, producirán efectos distintos:

- Si actúan en la piel, van a tener una acción simpática, aumentando la actividad neuronal, la resistencia a la fatiga y el incremento del tono muscular.
- Si actúan en localización subcutánea, se provoca una reacción parasimpática, con la consiguiente relajación muscular (Sorube et al, 1999; Torres, 2006).

Además, existen evidencias científicas como las de Listing et al (2010), de que el masaje es un tratamiento eficaz para reducir el dolor, la fatiga y el estrés en las mujeres con cáncer de mama.

EFFECTOS PSICOLÓGICOS

La mayor parte de las personas reconocen en el masaje un efecto relajante y una sensación de bienestar que se ha especulado que podría estar relacionada con la disminución de la actividad simpática, la liberación de opioides endógenos y la reducción de las llamadas hormonas del estrés, por lo que se considera que el masaje es eficaz en el alivio de la ansiedad, la depresión y las alteraciones psicológicas (Listing et al, 2009).

La atención que dedica el fisioterapeuta al paciente, unida a la agradable acción física que produce el masaje, parece establecer una estrecha relación de confianza, con lo que se favorece un mayor cumplimiento con el tratamiento por parte del paciente (Myers, 2008; Hou et al, 2010).

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

Antes de la descripción de cada una de las diferentes maniobras o procedimientos de masoterapia, vamos a centrarnos en una serie de aspectos técnicos comunes a todas ellas. Así, cualquiera que sea el tipo de masaje que se aplique, una buena técnica incluye los siguientes puntos:

1. Conservar un ritmo uniforme. La regularidad del ritmo es indispensable para una buena técnica de masaje y debe tenerse en cuenta en todos los movimientos y maniobras.
2. Establecer una velocidad correcta. La velocidad de los movimientos determinará la dosis total que debe aplicarse en un tiempo determinado. Los movimientos de masaje (a excepción de la percusión y el palmoteo) deben ser lentos, suaves y uniformes. En general, los movimientos que se realizan lentamente tienden a ser relajantes, mientras que los movimientos rápidos son estimulantes.

3. Mantener las manos flexibles de manera que se adapten al contorno de la zona corporal del sujeto/paciente.
4. Colocarse en una posición de pie correcta. La relajación de manos y el libre movimiento de brazos sólo se dominan si el fisioterapeuta adopta una posición correcta a la hora de aplicar el masaje.
5. Regular la presión ejercida según el tipo de tejido al que se aplica el masaje y los resultados que se quieran lograr. La elección del grado de presión depende en gran parte de la función de cada técnica. Una presión fuerte puede provocar un aumento de la estimulación e incrementar la tensión y el dolor, mientras que una presión más suave puede producir una ligera estimulación, que ayuda a la relajación y reduce el dolor.

Es indispensable tener en cuenta los aspectos técnicos en toda maniobra de masaje, y son más importantes para un buen logro terapéutico que los diversos movimientos específicos de que se componen los llamados «sistemas» de masaje (Beard, 1966; Beck, 2000; Fritz, 2005).

A continuación, enunciaremos los diferentes aspectos metodológicos que debemos controlar en todo procedimiento de masoterapia:

POSICIONAMIENTO EN EL MASAJE

En el caso del paciente, de su buena posición depende la efectividad de las maniobras elegidas para el tratamiento y la comodidad del fisioterapeuta. Como posición básica para aplicar un masaje destaca el decúbito en cualquiera de sus variantes supinas o pronas. Sin embargo, tenemos que tener en cuenta aquellos casos que no toleren posiciones en decúbito y hay que valorar otras posibilidades como, por ejemplo, la sedestación. Como norma general, la posición del paciente en la camilla debe ser lo más próxima al borde en el que esté situado el fisioterapeuta. Es importante respetar en todo momento el pudor del paciente; para ello, éste debe permanecer debidamente tapado. El paciente siempre tiene que estar cubierto de modo que sólo quede visible la parte o partes que van a tratarse.

Por parte del fisioterapeuta, una correcta postura para aplicar un masaje es fundamental tanto para la prevención de lesiones como para conseguir la máxima eficacia de las maniobras que debe realizar con el mínimo esfuerzo. Para ello deben tenerse en cuenta una serie de aspectos:

1. La altura de la camilla, que depende siempre de la envergadura del paciente y del fisioterapeuta.
2. La proximidad a la estructura diana; así, una separación excesiva de la zona que se masajea implica un esfuerzo añadido para el fisioterapeuta al tener que aumentar la tensión, sobre todo de la columna, para poder alcanzar la estructura objeto de tratamiento.
3. La espalda debe estar alineada y con un reparto del esfuerzo de forma armónica por todo el cuerpo, sin sobrecargar determinadas regiones. Así se evita a largo plazo la sobrecarga de éstas.
4. Debemos mantener un paralelismo entre las dos cinturas. El equilibrio entre las cinturas escapular y pélvica es fundamental para evitar lesiones en la columna; para ello, ambas estructuras deben disponerse de forma paralela una respecto a la otra.

Cuando el paciente yace en la camilla, las conocidas posiciones de descanso sin moverse del sitio (*standing fall-out*) o de andar sin moverse del sitio (*walk standing*) suelen ser las más adecuadas; el fisioterapeuta flexiona sus rodillas y tobillos, lo que le permite inclinarse hacia delante y hacia atrás, así alcanzará una zona bastante amplia moviendo poco las caderas y la columna vertebral. Los dos pies deben estar permanentemente en contacto con el suelo. Esta posición facilita una buena relajación de brazos y manos, y evita la fatiga (Beard, 1966).

EQUIPAMIENTO

El instrumento principal para realizar un masaje son las manos bien entrenadas del fisioterapeuta; además, se necesitarán:

1. Mesa o superficie de tratamiento adecuada. Lo ideal es que la altura de la camilla sea ajustable, ya que va a permitir que tanto el fisioterapeuta como el paciente adopten posiciones más correctas. También existen asientos que permiten realizar el masaje en posición de sedestación.
2. Medios auxiliares que resulten útiles para el masaje, como pueden ser almohadas, calzos, cabezales, almohadillas, toallas, etc.; todos estos elementos son importantes, ya que van a permitir que los pacientes estén apoyados cómodamente durante las sesiones; de lo contrario no podrían relajarse y el tratamiento no sería tan eficaz.
3. Lencería, almohadas y cojines. En algunos casos es necesario cubrir al paciente, por lo que emplearemos una sábana; las toallas las utilizaremos para retirar el exceso de lubricante. Toda la ropa blanca siempre debe estar limpia y arreglada, y debemos cambiarla con cada paciente. Las almohadas y los cojines los emplearemos para que la posición de tratamiento sea la más adecuada para el descanso y el abordaje.
4. Lubricante. En casi todos los tipos de masaje debe usarse lubricante para no irritar la piel del paciente y asegurar un buen contacto. Debemos usar la cantidad que permita el deslizamiento suave sobre la piel; la cantidad adecuada depende de la sequedad de la piel del paciente y de las manos del fisioterapeuta. El lubricante se coloca en ambas palmas de las manos del fisioterapeuta y se aplica al hacer el primer movimiento de frotamiento; al terminar el masaje de cada zona conviene quitar el exceso de lubricante. Existen diferentes tipos de lubricantes: polvos, aceite y cremas. Intentaremos emplear los que presenten una menor posibilidad de provocar alergias o reacciones adversas.

PREPARACIÓN DE LAS MANOS

Las manos del fisioterapeuta deben estar limpias. Las uñas deben llevarse razonablemente cortas y con las puntas redondeadas, y nunca deben dañar al paciente durante la aplicación de las maniobras de masaje.

Es aconsejable retirar cualquier elemento que pueda entorpecer el deslizamiento de las manos del fisioterapeuta, como joyas o relojes de las muñecas y anillos de los dedos.

Las manos que presenten cortes, llagas abiertas, verrugas u otras lesiones cutáneas no serán aptas para realizar este tipo de procedimientos. Las manos ideales son fuertes, cálidas, ágiles y no sudorosas. Antes y después de cada sesión de masoterapia, el fisioterapeuta debe lavarse las manos; en general éstas deben estar siempre limpias.

En los procedimientos de masaje, las manos realizan dos funciones: movilizar los tejidos blandos y obtener información sobre el estado de los tejidos, para crear un *biofeedback* con el paciente y ajustar en cada momento la intensidad, la velocidad y el ángulo de incidencia en la aplicación del masaje.

CONDICIONES GENERALES

Entre las diferentes variables que influyen de forma general en la aplicación de un procedimiento de masoterapia destacan:

1. Temperatura de la habitación. La temperatura ambiente en el área de realización del masaje debe mantenerse entre 22 y 24 °C debido a que el masaje produce un efecto vasodilatador. Como consecuencia, la sangre más superficial del paciente se enfría durante una sesión de masoterapia; es imposible que el paciente se relaje si siente frío.
2. Intimidad. Este tipo de procedimientos requiere de una gran intimidad para que se cree una óptima relación fisioterapeuta-paciente. Si la habitación de masaje está separada de otras áreas públicas, se debe dejar solo al paciente para que se prepare para el tratamiento. De ser posible, los masajes deben darse en privado.

3. Accesibilidad. Es importante ubicar la práctica de tratamiento de masaje de manera que sea fácilmente accesible a los pacientes con dificultades de movilidad.
4. Iluminación. La iluminación artificial, a menudo, es incómoda y deslumbra al paciente, por lo que es aconsejable emplear luz indirecta y, a ser posible, natural (Jingxi y Huangui, 2003; Fritz, 2005).

DURACIÓN Y FRECUENCIA DEL TRATAMIENTO

El objetivo del tratamiento es lo que determinará el número de sesiones de masoterapia y la duración de cada una de ellas. Como norma general se determina que para un masaje corporal completo se suelen emplear alrededor de 45 minutos, y para un tratamiento más localizado, sobre unos 20 minutos.

Las sesiones se pueden realizar diariamente o varias veces al día. Especificar un número concreto de sesiones es muy complicado, ya que en la recuperación funcional de un paciente el masaje se concibe como parte del tratamiento global de fisioterapia.

MANIOBRAS CLÁSICAS DE MASOTERAPIA

En la ejecución de los procedimientos de masoterapia clásica se han de tener en cuenta los siguientes criterios:

1. Preparar previamente las manos del fisioterapeuta: hábiles, sensibles y calientes.
2. Ambiente relajado en masaje relajante, se puede incluso acompañar con música de fondo.
3. Hemos de actuar a tres niveles de profundidad: la piel, el tejido celular subcutáneo y el músculo.
4. Como mínimo debemos estar 3 minutos por cada área o zona que deba tratarse.
5. La presión y la progresión del masaje se deben realizar siempre desde la superficie hacia la profundidad. Cuando finalizamos el masaje, la progresión es a la inversa, es decir, desde la profundidad a la superficie.
6. Si tenemos prisa: interrumpimos el masaje.
7. Todos los procedimientos de masaje deben ejecutarse en dirección a las vías linfáticas más próximas.
8. La posición del paciente no debe ejercer ninguna tensión en las zonas donde se efectúa el masaje.
9. Los procedimientos de masaje no deben provocar sensaciones de dolor.

Podemos clasificar los procedimientos de masoterapia clásica según la zona corporal objeto de nuestro tratamiento. Además, la ejecución del masaje clásico se divide en cuatro fases, coincidiendo la fase inicial y final con maniobras de masoterapia superficial:

1. Procedimientos de masaje superficial (fase inicial).
2. Procedimientos de masaje medio.
3. Procedimientos de masaje profundo.
4. Procedimientos de masaje superficial (fase final).

PROCEDIMIENTOS DE MASOTERAPIA SUPERFICIAL

Entre las maniobras de masaje clásico superficial destacamos las siguientes:

Roce superficial

El roce superficial, que también se denomina *effleurage*, consiste en un deslizamiento superficial, un acariciamiento o trazo superficial. Se realiza mediante un contacto superficial con los

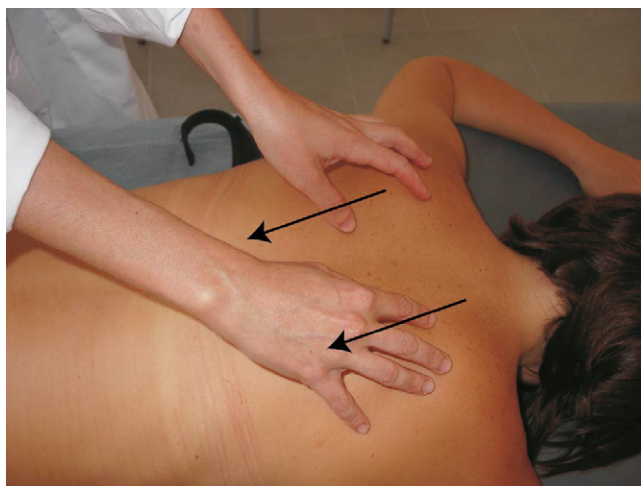


FIGURA 10.1 Procedimiento de roce superficial.

pulpejos de los dedos o con la palma de la mano relajada. Todos los dedos llevan la misma dirección, adaptándose a la forma del cuerpo. Se realiza al iniciar y al finalizar el masaje clásico. Los movimientos son lentos, rítmicos y suaves. Se ha de realizar en sentido centrípeto; esto es, en dirección desde las extremidades al centro del cuerpo, siguiendo las vías de retorno venoso y linfático. Puede tener dirección centrípeta lineal, semicircular, en zigzag (o «en árbol de Navidad»), circular, etc. (Fernández, 2008).

El roce superficial provoca la eliminación mecánica de las células muertas de la epidermis, mejora la respiración cutánea, y se intensifica la función secretora de las glándulas sebáceas y sudoríparas. Además, se incrementan el tono muscular y cutáneo y la función de contracción de las glándulas cutáneas. El roce superficial eleva la temperatura local, produce una agradable sensación de calor y una vasodilatación sanguínea, permitiendo un aumento del flujo de sangre arterial hacia la zona donde se realiza el masaje. Además, con este procedimiento de masoterapia se intensifica el flujo de sangre venosa y linfática y se activa el tono de las fibras musculares cutáneas, con lo que mejora la elasticidad y la flexibilidad de la piel. Asimismo, se incrementa el trofismo de los elementos celulares de las capas profundas de la piel, elevándose el número de eritrocitos y de trombocitos. El roce superficial tiene un efecto sedante, debido a que contribuye a disminuir la excitabilidad del sistema nervioso central, obteniendo de este modo un efecto relajante y analgésico (Andreewicz, 2003) (fig. 10.1).

Presión superficial

Esta maniobra de masaje clásico consiste en una presión suave que puede realizarse con la yema de los dedos, todo el dedo, talón de la mano, toda la mano, tercera falange, etc. En la espalda puede realizarse también con las falanges proximales de los dedos. La presión superficial se ejecuta de forma suave y precisa. Los dedos más adiestrados de la mano, es decir, con los que mejor se realiza la presión son el índice, el dedo medio y el anular.

La presión superficial puede ser estática o con deslizamiento. Permite una primera toma de contacto con la zona del organismo que se va a masajear en el paciente. La presión estática es una presión que se realiza de forma intermitente, mientras que la presión con deslizamiento se lleva a cabo de forma continua (Beard, 1966) (fig. 10.2).

Frotaciones superficiales

La frotación consiste en pasar la mano, o partes de ella, sobre áreas relativamente extensas del cuerpo, con presión más o menos constante. Puede aplicarse con diferentes presiones. En el masaje superficial se ejecuta de forma ligera, «poco más que una caricia». Con un procedimiento



FIGURA 10.2 Procedimiento de presión superficial.

correcto de frotación superficial se puede lograr la relajación de músculos contraídos, y el cese del espasmo muscular mediante un mecanismo reflejo.

Al inicio y al término de la frotación, la mano debe colocarse y separarse de la piel del sujeto/paciente de forma gradual y muy suavemente, de modo que éste casi no lo perciba. Las manos del fisioterapeuta deben estar relajadas; toda la palma de la mano debe contactar y adaptarse al área que se está tratando, para que la presión sea uniforme. El movimiento puede seguir cualquier dirección, porque la presión es tan ligera que no afecta de manera directa a la circulación. En las frotaciones aplicadas en los miembros, la dirección debe ser centrífuga, que es la del crecimiento del vello, para no causar un efecto desagradable. El ritmo uniforme de la frotación superficial es muy importante para asegurar la relajación. La velocidad establecida debe ser constante durante el movimiento y adaptarse a las características personales del paciente (Andreewicz, 2003) (fig. 10.3).

PROCEDIMIENTOS DE MASOTERAPIA MEDIA

Rodamiento

En el procedimiento de rodamiento, las manos del fisioterapeuta agarran la piel del paciente, la fascia superficial y la grasa asociada entre el pulgar y las puntas de los dedos. Posteriormente, se elevan estos tejidos en dirección perpendicular a la superficie cutánea del paciente.



FIGURA 10.3 Procedimientos de frotaciones superficiales.



FIGURA 10.4 Procedimiento de rodamiento.

La superficie de contacto que utiliza el fisioterapeuta es tan amplia como sea posible, excepto en aquellos segmentos corporales de menor tamaño, con el objeto de evitar que el paciente experimente una sensación punzante. En las zonas en las que la piel es más flácida o hay más grasa, la superficie de contacto debe abarcarse con las falanges distales y el talón de la mano. Las manos mantienen simultáneamente la tensión sobre los tejidos del paciente y hacen rodar los tejidos superficiales sobre la superficie cutánea. En este procedimiento se producen dos fuerzas de estiramiento simultáneas: una perpendicular y otra paralela a la piel. El movimiento de deslizamiento se produce cuando el fisioterapeuta reúne y libera simultáneamente los tejidos del paciente a la vez que mantiene el movimiento de sujeción y elevación. Las manos no liberan el rodamiento con los tejidos del paciente hasta llegar al final de cada oleada (Fernández, 2008).

El procedimiento de rodamiento puede aplicarse con una o ambas manos, sin embargo, es más fácil de ejecutar con las dos manos simultáneamente. El rodamiento puede realizarse en distintos sentidos, longitudinal, circular, semicircular, etc. La piel se une a la fascia superficial de forma distinta según cada zona del cuerpo, y puede ser más fácil de ejecutar en una dirección concreta en cada región. En una intervención el fisioterapeuta realiza el rodamiento cutáneo sobre una región completa, ejecutando el procedimiento en una dirección concreta (Cassar, 2001; Clay y Pounds, 2003).

En el masaje medio el rodamiento se realiza con fines diagnósticos, para poder establecer el lugar exacto de una contractura, la existencia de miogelosis (gelosis muscular o gelificación de los coloides de la fibra muscular, que forman zonas endurecidas o nódulos, especialmente en los glúteos y en las articulaciones sacroilíacas), valorar el estado de la piel, la adherencia de los tejidos, el tono muscular, etc. Para ello se ejecuta a un ritmo lento ($< 1 \text{ cm/s}$) y con una fuerza de elevación moderada, para producir un arrastre de la fascia superficial del paciente (Fernández, 2008) (fig. 10.4).

Vaciado venoso

El vaciado venoso consiste en la realización de movimientos amplios ejecutados con la palma y los dedos de la mano, que van acariciando la piel con suavidad y un poco de firmeza, en sentido centrípeto, produciendo un drenaje de las superficies del cuerpo. En un primer momento, las manos se llevan la sangre con sus residuos de desecho, y de inmediato un nuevo flujo sanguíneo aparece renovando y nutriendo todas esas zonas. Cada paso debe durar varios segundos, ya que hay que evitar el riesgo de rotura de capilares ante el exceso de contenidos drenados. Se realizan tres repeticiones por zona, procurando que sea más firme en cada pasada. Esta frotación lenta y superficial, de presión ligera, produce una insensibilidad paulatina y

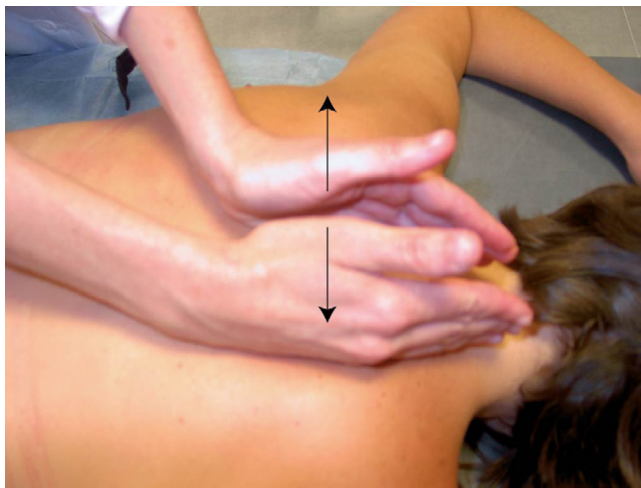


FIGURA 10.5 Procedimiento de vaciado venoso.

sedación del dolor. Por otro lado, al vaciar el contenido venoso existente, y facilitar un nuevo flujo sanguíneo, renueva y nutre los tejidos internos de la piel. Produce una acción tónica y descongestiva de la piel y de los músculos, así como de las zonas intersticiales. El vaciado venoso se efectúa con lentitud, sin cambios de ritmo ni de presión durante su ejecución. Esta maniobra evita que posteriormente se generen hematomas durante los amasamientos. Está indicada, por su capacidad descongestiva, en los casos de deficiencias de tipo circulatorio. Es muy eficaz en combinación con los ejercicios de recuperación después de una inmovilización. En combinación con la fricción contribuye a una rápida recuperación después de un ejercicio intenso agotador (Peinado, 2005) (fig. 10.5).

PROCEDIMIENTOS DE MASOTERAPIA PROFUNDA

Frotaciones profundas

Toda frotación que se ejecuta con suficiente presión para que produzca efectos mecánicos y reflejos se considera profunda. Las frotaciones profundas mejoran la circulación venosa y linfática por su acción mecánica sobre los tejidos. Las frotaciones profundas se pueden ejecutar con cualquier parte de una mano o con ambas simultáneamente, según el área que deba tratarse. Al finalizar el movimiento de frotación profunda, la parte de la mano con la que se ha ejecutado el movimiento regresa sobre la misma área de tratamiento a la posición de partida realizando un frotamiento superficial, para evitar el estímulo que por vía refleja llega a las terminaciones nerviosas cutáneas (Sorube y Martínez, 1999; Torres, 2006).

En las frotaciones profundas no hay que emplear necesariamente la fuerza, sino que se denominan de este modo para distinguirlas de la presión muy ligera que se ejerce en la presión superficial, la cual sólo tiene un efecto reflejo. Las manos del fisioterapeuta deben estar relajadas y deben adaptarse al contorno del área que se trata, distribuyendo una presión uniforme a todas las estructuras subyacentes. La dirección de la frotación profunda en las extremidades debe ser centrípeta. El ritmo debe ser uniforme durante todo el movimiento de frotación profunda y la velocidad constante.

Las frotaciones se realizan mediante un roce o deslizamiento profundo. La mano presiona más profundamente con el objeto de llegar a planos más profundos que se deseen tratar (músculos, sistema vascular, cápsulas articulares). En las frotaciones se genera un roce más deslizamiento más presión. Se realizan principalmente sobre articulaciones, cápsulas, ligamentos y tendones, y su acción principal es el aumento de la vascularización para mejorar la circulación de retorno y linfática. Es muy importante tener cuidado con zonas edematosas, en inflamaciones articulares y después de microtraumatismos, en cuyo caso estarían contraindicadas.

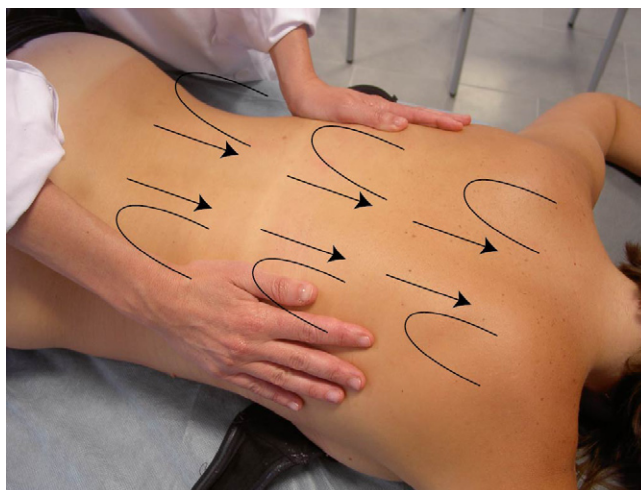


FIGURA 10.6 Procedimiento de frotaciones profundas.

En problemas no vasculares pueden realizarse con las yemas de los dedos aproximadas, con la palma de la mano o con las primeras falanges de la mano (Andreewicz, 2003; Fernández, 2008).

Las frotaciones se pueden llevar a cabo en sentido lineal, circular, zigzag, espiral, circular y punteado. La fuerza y la intensidad con la que se realicen van a depender del tipo de patología, de la sensibilidad del paciente y del estado de la piel. Son muy útiles y se aplican frecuentemente para el calentamiento articular, previa movilización articular, es decir, en el calentamiento del deportista que va a competir para favorecer el aporte circulatorio a éstas y otras estructuras mejorando también su oxigenación (Fritz, 2005; Peinado, 2005) (fig. 10.6).

Fricción

La fricción se efectúa enérgicamente, con una presión importante sobre los tejidos implicados, sin desplazar los dedos sobre la piel. El fisioterapeuta posiciona el segmento corporal que debe tratarse de forma que haya una tensión suficiente para aislar eficazmente la fuerza de fricción sobre los tejidos diana sin afectar a los tejidos normales circundantes. Si los tejidos diana están flácidos, la superficie de contacto tenderá a deslizarse sobre ellos y la fuerza de fricción se disipará hacia el tejido sano adyacente y provocará su inflamación. La fricción se aplica mediante un movimiento profundo de los dedos, palma, nudillos o codo sobre un tejido blando en un esfuerzo por romper adherencias, tejido cicatricial o nódulos que limitan el flujo sanguíneo, el rango de movimiento o la sensibilidad del área. La fricción se aplica sobre tejidos blandos como articulaciones, tendones, fascias, ligamentos, raíz nerviosa y trayectos nerviosos. Nunca debe aplicarse directamente sobre una prominencia ósea (Beard, 1966; Andreewicz, 2003).

En la fricción se produce un desplazamiento de la cara interna de la piel sobre planos subyacentes más profundos. Esta acción profunda provoca un incremento de la temperatura local de 1-3 °C. La amplitud del desplazamiento va a depender de la laxitud del tejido celular subcutáneo. Puede realizarse con el pulpejo del dedo índice apoyado por el dedo medio o al contrario, con pulgares, con el talón de la mano, el puño, el codo o la heminencia hipotenar. La presión que se ejerce es firme, rítmica y profunda. Los movimientos de los dedos durante la fricción son breves y precisos en zonas concretas. Si queremos producir una hiperemia, realizaremos los movimientos rápidos y enérgicos. Sin embargo, para producir un efecto analgésico, realizaremos la fricción de forma lenta y suave. La fricción puede ser longitudinal o transversal a la lesión. Existe una variante específica, descrita por Cyriax, denominada «fricción transversa profunda de Cyriax» como procedimiento de masoterapia, que no entramos a detallar.

La fricción provoca una excitación en los receptores de los tejidos, así como de los sensores de los vasos sanguíneos. Esta excitación intensifica la circulación sanguínea, y se genera un mayor aporte de oxígeno y de sustancias activas nutritivas y químicas. La dirección en la que se realiza la fricción va a depender de la forma de la articulación, de la situación de los ligamentos, de los tendones, etc. En la fricción sobre las articulaciones, tendones, fascias o troncos nerviosos, la mano que realiza la fricción no debe deslizarse por la piel. La mano debe ejecutar la fricción siguiendo un movimiento progresivo o circular, moviendo la piel hacia el lado o hacia delante (Cassar, 2001) (fig. 10.7).

Otra variante interesante es la fricción transversa escapular que permite la resolución de puntos de contractura muscular en los grupos musculares interescapulares. La fricción transversa escapular se realiza, en primer lugar, en decúbito lateral y se busca un punto de contractura en la zona interna de la escápula (debajo del borde escapular interno). Posteriormente, se realiza una fricción transversa con la yema de los dedos. Esta fricción se lleva a cabo con todos los dedos de forma simultánea, en sentido caudal-craneal. Seguidamente se posiciona el paciente en decúbito prono y hacemos el movimiento de «llevar la escápula». En el caso de la escápula alada, ésta se aproxima a la zona media. En la escápula adherida a la línea media, se intenta llevar la escápula en dirección centrífuga. Una mano del terapeuta se posiciona en la espina de la escápula y la otra en el vértice. Ambas manos se mueven en sentido contrario, describiendo una «semiluna» (Canamasas-Ibáñez, 1993; Boigey, 1998) (fig. 10.8).



FIGURA 10.7 Procedimiento de fricción.

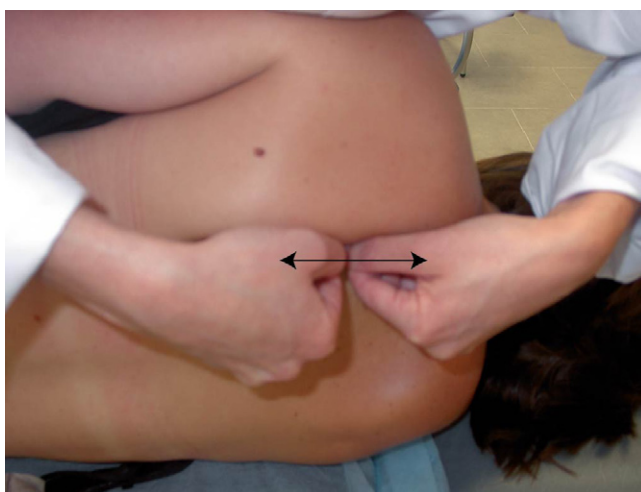


FIGURA 10.8 Procedimiento de fricción transversa escapular.

Amasamiento

El amasamiento también se denomina *petrissage* o «malasación». En el masaje terapéutico este procedimiento representa hasta un 60% del tiempo global de la sesión de masaje. El amasamiento actúa en todo el sistema muscular, mejorando la circulación sanguínea de la zona donde se realiza el masaje, así como de las zonas circundantes para obtener una enérgica absorción de los tejidos adiposos patológicos y el vaciado de los vasos linfáticos. El amasamiento mejora la nutrición de los tejidos, intensifica el intercambio de sustancias y la eliminación de productos metabólicos como el CO₂ y ácido láctico, disminuye la fatiga muscular, aumenta la capacidad de contracción de los músculos, incrementa la movilidad de las articulaciones, y mejora el estado funcional de los ligamentos y de los órganos locomotores (Fernández, 2008).

En el amasamiento se realiza una compresión en masa de la piel, tejido celular subcutáneo y músculo o músculos subyacentes, hasta llegar a la profundidad del hueso. Se lleva a cabo una aprehensión con todos los dedos de la masa muscular. El pulgar se opone durante el movimiento a los otros cuatro dedos. Se genera un desplazamiento del tejido muscular, aprehensión del músculo, estiramiento y ligero retorcimiento. El amasamiento, dentro del masaje profundo, se realiza con mayor fuerza y presión, y es muy importante «no dar pellizcos» que irriten al músculo porque éste puede responder contrayéndose aún más (Andreewicz, 2003).

El amasamiento genera impulsos aferentes en los receptores situados en el tejido muscular, tendones, ligamentos, capsulas articulares, fascia y periostio, y se generan modificaciones en el estado del sistema nervioso central y periférico, que van a depender del modo de ejecución del procedimiento y del estado funcional de los músculos. Sobre el sistema nervioso central, el amasamiento tiene un efecto excitante, acelera la respiración y la frecuencia cardíaca y aumenta la temperatura corporal (Jingxi y Huangui, 2003).

En la maniobra de amasamiento existen tres procedimientos principales:

1. Amasamiento de reptación. Consiste en presionar al músculo lentamente e ir desplazándose de 3 en 3 cm hacia el área vecina.
2. Amasamiento de torsión. Son movimientos de retorcimiento en un lugar concreto del músculo.
3. Amasamiento transversal. En este masaje los pulgares van recorriendo todo lo ancho del músculo, separando las fibras musculares «centímetro a centímetro».

La dirección del amasamiento no ha de ser centrípeta, sino que puede hacerse en cualquier sentido y dirección. En la realización de este procedimiento hay que tener precaución con músculos excesivamente dolorosos (muy contracturados). No debemos seguir con la aplicación cuando haya dolor durante su realización, debido a que el dolor genera mayor contractura muscular. Ante la presencia de un dolor intenso, disminuimos la presión, y si persiste, realizamos otras técnicas alternativas y esperamos a que cese el dolor en la zona para, en sesiones posteriores volver a realizar el amasamiento.

Cuando queremos obtener un efecto sedante, el amasamiento se aplica con lentitud. Sin embargo, cuando queremos obtener un efecto estimulante, se aplica con brusquedad y rapidez. En el amasamiento realizado de forma rápida se aplican de 30 a 50 movimientos/min, generando un estímulo sobre el músculo. En el amasamiento ejecutado con lentitud se realizan de 10 a 15 movimientos/min, con un efecto relajante, sedante y descontracturante (Andrade y Clifford, 2004) (fig. 10.9).

Pellizcamiento

El pellizcamiento es un procedimiento exploratorio y movilizador de la piel. Es una maniobra que estimula con gran rapidez el intercambio celular. El pellizcamiento se realiza con los dedos, con la oposición los cuatro dedos de la mano al pulgar o entre el dedo pulgar e índice,



FIGURA 10.9 Procedimiento de amasamiento.

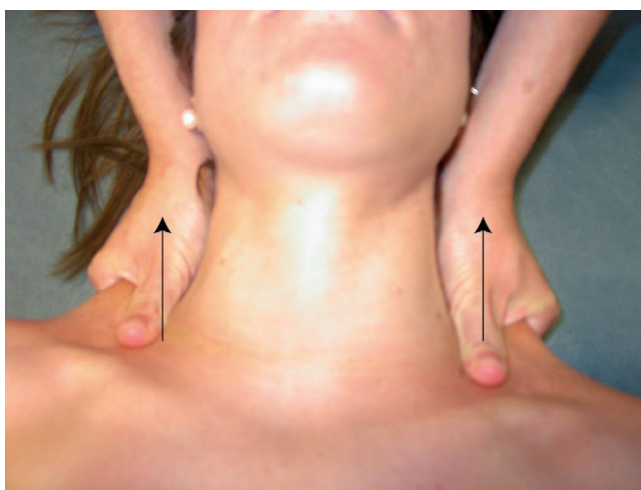


FIGURA 10.10 Procedimiento de pellizcamiento.

procurando no producir un dolor excesivo. Se puede realizar con ambas manos de forma simultánea, o bien alternándolas. Se ejecuta con mucha frecuencia sobre el músculo trapecio. Es muy importante durante la ejecución de esta maniobra que «no se clave la yema de los dedos», sino que el procedimiento de pellizcamiento se realice con las falanges de los dedos. También puede hacerse en eminencia tenare, hipotenar, generando una apertura de la mano. Frecuentemente se realiza sobre cualquier cicatriz, para evitar o liberar las adherencias con los planos subyacentes (Boigey, 1998; Beck, 2000) (fig. 10.10).

Percusión

El procedimiento de percusión posee un efecto profundo y nunca puede aplicarse en las primeras maniobras de masaje. La percusión incrementa el tono muscular, el flujo de sangre arterial, y mejora la nutrición del tejido y la excitabilidad del sistema nervioso central. Además, mejora la función de los nervios vasculares y secretores. Si el músculo es sometido a percusiones rápidas y fuertes, se producirán contracciones musculares. Los procedimientos de percusión ejecutados con gran frecuencia provocan en las masas musculares movimientos oscilatorios. Las percusiones pueden administrarse con la punta de los dedos, eminencia hipotenar, talón de la mano, puño o palma de la mano ahuecada. La percusión implica movimientos rítmicos, enérgicos, alternando ambas manos o con una sola mano. La profundidad y la



FIGURA 10.11 Procedimiento de percusiones.

intensidad de ejecución del procedimiento van a depender de la lesión que se trate (Andrade y Clifford, 2004).

La vibración más percusión se denomina *clapping* y se administra, sobre todo, en fisioterapia respiratoria para despegar las secreciones mucosas. Mediante las percusiones se producen fuertes oscilaciones sobre determinadas áreas del cuerpo; en la caja torácica tiene un fuerte efecto movilizador de secreciones bronquiales. Si bien, la aparición de técnicas más sofisticadas para el tratamiento de dichas secreciones, han hecho que el *clapping* caiga en desuso para el tratamiento respiratorio en la práctica clínica actual. Sobre los grupos musculares, principalmente, actúa con un efecto estimulante y vasodilatador local, con lo que nunca deben administrarse en un masaje cuyo efecto sea relajante (Fernández, 2008) (fig. 10.11).

Las maniobras de percusión se pueden aplicar y están indicadas en el tratamiento de grupos musculares atroficos (tras inmovilizaciones), y en la estimulación superficial y profunda de la musculatura de deportistas antes de la competición porque tiene un efecto vasodilatador y favorecedor de la circulación sanguínea local. Además se emplea en la especialidad de fisioterapia respiratoria. Por el contrario, la percusión no se debe aplicar o está contraindicada en músculos dolorosos o contracturados, o en pacientes que presenten fragilidad capilar (por la predisposición a producir hematomas). No debemos nunca aplicar percusión en los paquetes vasculonerviosos como la axila, la ingle, etc., ni en órganos frágiles como el hígado, el riñón o el bazo.

Presión profunda

El procedimiento de presión profunda se denomina también «de compresión». El principio de este procedimiento es comprimir una región lesionada entre las dos manos, o entre el pulgar y el resto de los dedos de una misma mano, o entre la palma de la mano y un plano resistente óseo subyacente (Fernández, 2008).

La presión profunda puede ser estática o mantenida, cuando solamente se realiza un apoyo manual con dedos, nudillos, puño o codo sobre la zona afectada. Asimismo, puede realizarse una presión con deslizamiento, cuando las manos se desplazan y comprimen al mismo tiempo las partes blandas subyacentes. La presión estática, desde el punto de vista mecánico, no ha de ser constante, sino que debe realizarse intermitentemente; así, el tiempo de presión variará según la zona corporal y la patología que estemos tratando (Peinado, 2005).

La presión que realicemos debe ser siempre uniforme, ya que el efecto puede resultar ineficaz si hay una variación importante de la misma. Incluso para el paciente puede ser desagradable que cambiemos constantemente la presión durante la ejecución de la maniobra. Este hecho se puede explicar desde la perspectiva biomecánica y desde un punto de vista físico, al encontrarnos con sólo una constante es importante que la mantengamos fija. La fuerza que apliquemos en la compresión estática variará siempre según la zona topográfica que hay que tratar;

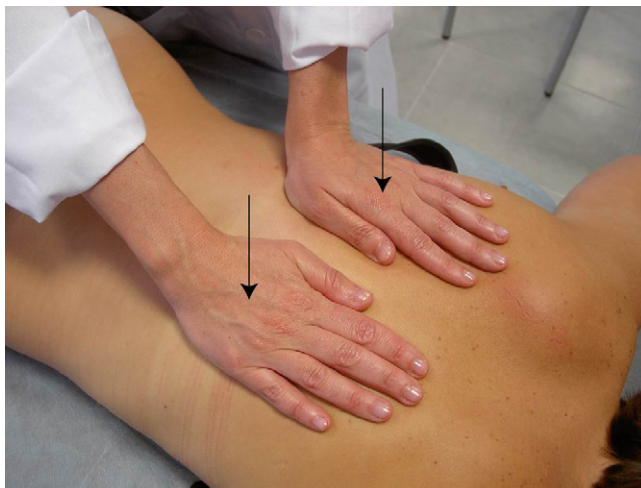


FIGURA 10.12 Procedimiento de presión profunda.

así, en una zona con importantes masas musculares será necesaria una presión mucho más importante que en otra zona en la que el volumen muscular sea menor. Además, será necesario variar el tiempo de presión de forma que en las zonas con mayor masa muscular, éste será mayor (Clay y Pounds, 2003).

En la presión con deslizamiento, las manos se desplazan comprimiendo las partes blandas subyacentes, siguiendo siempre una dirección centrípeta venosa, desde la parte distal hasta la parte proximal de las extremidades. La mano se adapta al relieve de la piel, provocando la presión deslizante. La presión ha de ser fuerte y uniforme, sin olvidar la zona topográfica en la que se realiza; por ejemplo, será más fuerte en la zona de la musculatura de trapecios que en la zona del antebrazo. La presión debe aumentarse de forma uniforme y gradual según la resistencia de los tejidos, su tono y su densidad (Andrade y Clifford, 2004).

El procedimiento de presión profunda es muy efectivo en los planos aponeuróticos. El ritmo con el que se realiza la presión deslizante es de 12 presiones por minuto, teniendo siempre en cuenta la superficie que debe tratarse. La presión tiene una acción sedante sobre el sistema nervioso periférico, eliminación local de la fatiga, hiperemia, disminución de la cronaxia y mejora del drenaje de los vasos linfáticos y venosos. Las principales indicaciones de la presión profunda son trastornos de la circulación de retorno, algias y contracturas musculares (Canamasas-Ibáñez, 1993; Andreewicz, 2003) (fig. 10.12).

Las presiones profundas pueden ejecutarse de diferentes modos:

1. Presiones deslizantes digitales. Se pueden realizar con la yema de los dedos o con el pulgar.
2. Presiones deslizantes longitudinales. Deben ejecutarse paralelamente con la presión a la zona topográfica que se maseja.

Vibraciones

La vibración permite un mejor flujo sanguíneo y linfático, y una distribución equilibrada del líquido entre los tejidos. Al eliminar la tensión, ejerce un efecto analgésico sobre el sistema nervioso central. Se aplica a lo largo de las fibras musculares, desde su inserción distal hasta su inserción proximal. Durante la realización de esta técnica es muy importante conseguir una relajación completa de los músculos sobre los que se aplica. Cuanto mayor sea la frecuencia de los movimientos de vibración, más rápida será la relajación de los músculos y la eliminación de la tensión. En la realización de las vibraciones de extremidades no hay que realizar flexión de rodilla o codo, sino que es conveniente realizar la vibración con la extremidad

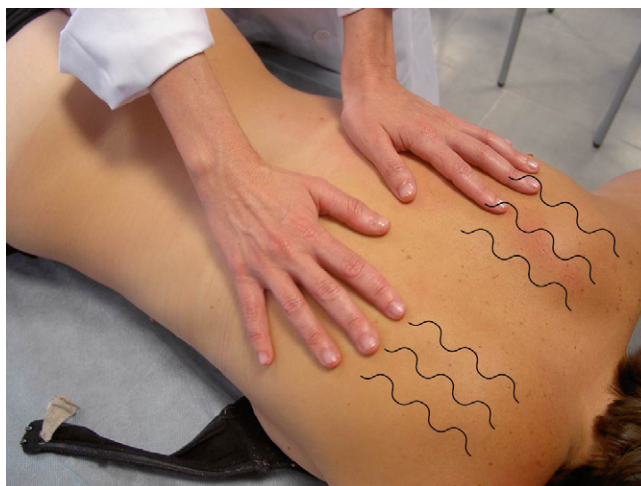


FIGURA 10.13 Procedimiento de vibraciones.

estirada. Las vibraciones de miembros deben ejecutarse con mayor amplitud y frecuencia (Beard, 1966; Canamasas-Ibáñez, 1993; Andrade y Clifford, 2004).

La vibración se realiza con las manos o con algún instrumento especial para ello. Mediante la vibración se transmiten al cuerpo movimientos oscilatorios de máxima frecuencia realizados con los dedos, palma de la mano o el puño. La vibración digital suele realizarse siguiendo los troncos nerviosos. Mediante la vibración se intensifican los procesos de intercambio y regeneración. Hay un mayor aporte sanguíneo, mejora la nutrición de los tejidos, se acelera la formación del calo óseo en el caso de fracturas, disminuye la excitabilidad nerviosa y muscular, se reduce la presión arterial, disminuye la fatiga y se aceleran los procesos de recuperación de los tejidos. La vibración permite intensificar los reflejos débiles, tiene una acción analgésica, y mejora los espasmos musculares y las parestesias (Clay y Pounds, 2003; Peinado, 2005).

La vibración manual puede ser continua o discontinua. En la vibración continua los movimientos oscilatorios se efectúan sin retirar la mano de la zona sobre la que se realiza. En la vibración discontinua, la mano que ejecuta la vibración se retira periódicamente sobre la zona trabajada. Cuanto más verticales estén los dedos del fisioterapeuta en la ejecución de la vibración, más intensa será la acción del procedimiento (Andrade y Clifford, 2004).

Las vibraciones son muy útiles en masas musculares y zonas hiperálgicas. Las manos del fisioterapeuta permanecen siempre en contacto con la piel, nunca se despegan. El movimiento de vibración debe partir de la cintura escapular del terapeuta, no de su muñeca. Se realizan con frecuencia a una velocidad de 6 a 10 movimientos por segundo, o superior. Es una de las maniobras finales del masaje profundo (Canamasas-Ibáñez, 1993; Beck, 2000) (fig. 10.13).

Sacudidas

Las sacudidas podemos introducirlas entre las maniobras de masaje superficial pero, por sus efectos y su empleo en las fases finales de una sesión terapéutica, las abordaremos entre las aplicaciones profundas. Las sacudidas se realizan sobre brazos, piernas y cintura pélvica. La toma del miembro superior o inferior sobre el que se van a realizar las sacudidas se realiza en el extremo distal (mano o pie) y se efectúan movimientos acompasados y vibraciones de toda la extremidad. La otra mano del terapeuta se posiciona en la rodilla o en el codo, para impedir la flexión articular durante la sacudida (Peinado, 2005).

Las sacudidas tienen un efecto suave y relajante sobre los músculos, y un efecto manipulativo sobre las articulaciones. Se ejecutan de manera rítmica para soltar la tensión en brazos y piernas, permitiendo acelerar la circulación y restablecer el tono muscular (Cassar, 2001) (fig. 10.14).

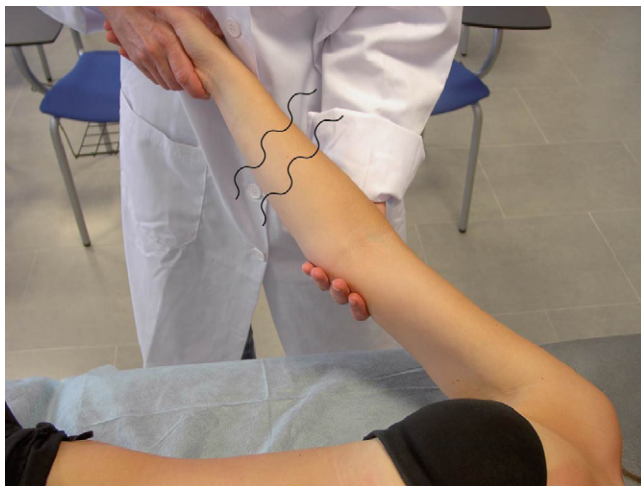


FIGURA 10.14 Procedimiento de sacudidas.

INDICACIONES

Las indicaciones para practicar masaje sólo pueden apreciarse cuando se sabe anatomía y fisiología del cuerpo humano y se conocen los mecanismos de producción de la enfermedad y de la lesión. Por ello, el profesional especialista en este tipo de procedimientos es el fisioterapeuta. Pasamos a enunciar una serie de indicaciones del masaje y las hemos dividido dependiendo del tejido afectado o diana.

PIEL

El masaje produce un desprendimiento de las células epiteliales y de otras sustancias, deja la piel más limpia y activa la regeneración celular cutánea. Por este motivo, está tan extendido su empleo en los procedimientos estéticos y de cosmiatría. Por otro lado, al aumentar el riego sanguíneo, el masaje puede prevenir úlceras y escaras, que son motivadas por un insuficiente aporte sanguíneo. Además, se aumenta la absorción de medicamentos por vía tópica, por lo que está especialmente indicado en la aplicación de pomadas y cremas.

TEJIDO MUSCULAR

Un masaje ligero y suave provoca una respuesta simpática que desencadena un aumento del tono muscular. Por el contrario, la aplicación de un masaje relajante consigue bajar la hipertonicidad de un músculo. Asimismo, la hiperemia aumenta la temperatura y relaja el músculo, y puede emplearse en contracturas, acortamientos y antes de los estiramientos musculares. Además, retrasa la aparición de la atrofia muscular provocada por la inmovilización gracias a la respuesta simpática, muy importante en pacientes encamados. Por otro lado, el masaje de la musculatura lisa digestiva estaría indicado en cólicos (cólico del lactante) y espasmos, en el tratamiento del estreñimiento, la hipotonía y la aerofagia.

TEJIDO CONJUNTIVO

En todo tipo de patologías que provoquen adherencias como las cicatrices, las bridas, etc., está indicada la aplicación de masaje. En estadios de inflamación subaguda o crónica como tendinitis, tenosinovitis, capsulitis, entesitis, epicondilitis, etc., es uno de los procedimientos de elección. En esguinces o torceduras, tanto en su fase aguda como crónica, con los objetivos de disminuir derrames articulares, evitar calcificaciones, conseguir una mejor disposición del colágeno y evitar adherencias está indicado el masaje como uno de los pilares terapéuticos.

Puede ayudar a eliminar el dolor crónico por la tensión que provoca el tejido mal organizado. Así, en la artritis, por la acción que el masaje ejerce sobre la membrana sinovial y las células defensivas, retrasa y acorta el período agudo de la patología.

CIRCULACIÓN

En el tratamiento de las deficiencias venosas consigue un mayor retorno venoso y reduce la cantidad de sangre retenida en las venas, previniendo así las deformidades y los engrosamientos. Además, produce una movilización de los edemas, lo que favorece su reabsorción. Por ello, está muy indicado su empleo en el tratamiento de los linfedemas al conseguir aumentar la cantidad de linfa en movimiento hacia los colectores.

SISTEMA NERVIOSO

En procesos dolorosos como lumbalgias, lumbociatalgias, mialgias, dismenorrea, etc., es uno de los procedimientos más empleados. Del mismo modo, el masaje está indicado en hipertonia e hipotonía muscular por alteraciones nerviosas, así como en trastornos tróficos del sistema nervioso periférico y en parálisis y paresias. En la actualidad, hay un gran interés en el uso del masaje para aumentar la conciencia corporal, postural y cinética, de gran beneficio en pacientes neurológicos y en bebés (procedimientos de estimulación precoz o en atención temprana), aunque estos objetivos tan específicos requieren de una formación amplia y una experiencia contrastada por parte del fisioterapeuta que realiza estas maniobras terapéuticas.

OTRAS INDICACIONES

Una de estas indicaciones es la flexibilización de la musculatura respiratoria. Finalmente, sabemos que mediante la aplicación de un masaje se puede incidir en el beneficio de un órgano interno, gracias a la unión existente entre una zona dérmica y un órgano interno a través de la conexión de ambas zonas por un circuito nervioso (reflejo visceral). Cada vez más el masaje se está empleando en el tratamiento del insomnio y de las alteraciones del sueño, por su efecto relajante.

PRECAUCIONES GENERALES

Debemos tener especial cuidado en una serie de aspectos que pasamos a enumerar para evitar riesgos potenciales en los sujetos/pacientes sometidos a procedimientos de masoterapia:

1. Lavarse las manos con un jabón antiséptico antes y después de trabajar con cada paciente. Si existe sospecha de contaminación bacteriana, utilizar una solución suave de alcohol (al 70%) para desinfectar las manos.
2. Mantener todos los productos, utensilios y superficies del área de masaje en perfecto estado de higiene.
3. Comprobar que todo el equipo reúna todas las condiciones de seguridad y estabilidad (camillas, bancos, taburetes, etc.).
4. Conocer la existencia de vías de infección y garantizar la protección de los pacientes mediante la aplicación de prácticas sanitarias adecuadas.
5. Usar sábanas limpias con cada paciente.
6. Evitar heridas abiertas y contusiones.
7. No practicar el masaje si el paciente está enfermo o tiene una enfermedad contagiosa.
8. Ayudar a los pacientes a subir y a tumbarse sobre la camilla de masaje.
9. Verificar que todos los pacientes no sean sensibles o alérgicos a los productos utilizados.
10. Utilizar los procedimientos más adecuados para la patología que estemos tratando.

11. El fisioterapeuta debe levantar a los pacientes, utilizando los mecanismos adecuados del cuerpo y empleando las técnicas de levantamiento de cargas correctas para evitar lesiones.
12. Conocer las contraindicaciones del masaje, que describimos a continuación.

CONTRAINDICACIONES

Aunque son muchas las ventajas del masaje, su aplicación puede estar contraindicada en algunos procesos patológicos. En general el masaje está contraindicado en todos los procesos en los que la sensibilidad tisular está aumentada y en casos que, por su fragilidad, estén expuestos a que el efecto mecánico de las manipulaciones pueda dar lugar a alteraciones o accidentes graves. Así, hay contraindicaciones absolutas y relativas dependiendo del riesgo que reporte para el paciente cada una de las maniobras de masaje aplicado.

CONTRAINDICACIONES ABSOLUTAS

1. Alteraciones hemorrágicas y deficiencia capilar.
2. Flebitis aguda por el peligro de formación de coágulos y trombosis porque puede producir el desprendimiento del coágulo, embolismo, varices venosas graves y linfangitis.
3. Cardiopatías no compensadas.
4. Procesos infecciosos e inflamatorios de piel, de tejidos blandos o de articulaciones.
5. Tumores malignos.
6. Fracturas y otros traumatismos recientes.
7. Heridas.
8. Procesos litíasicos de cualquier localización.
9. Enfermedades cutáneas como la psoriasis.
10. Afecciones localizadas en zonas de encrucijada vascular o nerviosa como son el hueco poplíteo, el triángulo de Scarpa, las axilas, la región anterior del codo y la zona anterior del cuello.

En estos procesos patológicos está totalmente contraindicada la aplicación del masaje ante el peligro de diseminación de la enfermedad, así como por el peligro de desencadenar nuevas patologías.

CONTRAINDICACIONES RELATIVAS

1. Embarazo.
2. Hipertensión arterial descompensada.
3. Taquicardia.
4. Aumento de dolor durante el masaje.
5. Reacciones cutáneas.
6. Problemas coronarios.
7. Alteraciones psicosomáticas.

En estas situaciones hay que ser prudente, teniendo en cuenta qué particularidad refiere el paciente y en función de ésta saber la intensidad, la duración y el ritmo, así como conocer dónde no puede aplicarse el masaje.

Bibliografía

- Andrade CK, Clifford P. Masaje Basado en Resultados (1.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2004.
- Andreewicz A. Masaje Deportivo (4.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2003.
- Airaksinen O, Brox JI, Cedraschi C, Hildebrandt J, Klaber-Moffett J, Kovacs F, et al. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. Eur Spine J 2006;15(2):192-300.

- Beard G. Masaje. Principios y Técnicas (1.ª ed.). México: Interamericana; 1966.
- Beck MF. Masaje Terapéutico. Teoría y Práctica (1.ª ed.). Madrid: Paraninfo; 2000.
- Boigey M. Manual de Masaje (5.ª ed.). Barcelona: Masson; 1998.
- Canamasas-Ibáñez S. Técnicas, Manuales: Masoterapia (2.ª ed.). Barcelona: Masson; 1993.
- Castro-Sánchez AM, Moreno-Lorenzo C, Matarán-Peñarocha GA, Aguilar-Ferrándiz ME, Almagro-Céspedes I, Anaya-Ojeda J. Prevención del linfedema tras cirugía de cáncer de mama mediante ortesis elástica de contención y drenaje linfático manual: ensayo clínico aleatorizado. Med Clin (Barc.) 2011;137(5):204-7.
- Cassar MP. Manual de Masaje Terapéutico (1.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill; 2001.
- Clay JH, Pounds DM. Masoterapia Clínica Básica (1.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2003.
- Fernández F. Masoterapia Profunda (1.ª ed.). Barcelona: Elsevier Doyma Masson; 2008.
- Fritz S. Fundamentos del Masaje Terapéutico (3.ª ed.). Madrid: Mosby- Elsevier; 2005.
- Hou WH, Chiang PT, Hsu TY, Chiu SY, Yen YC. Treatment effects of massage therapy in depressed people: A meta-analysis. J Clin Psych 2010;71(7):894-901.
- Jingxi Q, Huangui W. Masaje. Prevención y tratamiento de afecciones, trastornos y enfermedades (2.ª ed.). Barcelona: Hispano Europea; 2003.
- Listing M, Krohn M, Liezmann C, Kim I, Reissbauer A, Peters E, et al. The efficacy of classical massage on stress perception and cortisol following primary treatment of breast cancer. Arch Womens Ment Health 2010;13:165-73.
- Listing M, Reißbauer A, Krohn M, Voigt B, Tjahono G, Becker J, et al. Massage therapy reduces physical discomfort and improves mood disturbances in women with breast cancer. Psycho-Oncology 2009;18(12):1290-9.
- Myers CD, Walton T, Small BJ. The value of massage therapy in cancer care. Hematol/Oncol Clin North Am 2008;22(4):649-60.
- Sorube AL, Martínez D. Fundamentos y aplicación del masaje. Fisioterapia 1999;21(2):23-33.
- Torres M. Guía de masoterapia para fisioterapeuta (1.ª ed.). Madrid: Panamericana; 2006.

10.4 PROTOCOLOS BÁSICOS DE MASOTERAPIA: APLICACIÓN PRÁCTICA

En este apartado exponemos algunas patologías frecuentes que se tratan con los procedimientos de masoterapia y la secuencia de maniobras que deben aplicarse en cada una de ellas, según diferentes autores (Canamasas-Ibáñez, 1993; Andrade y Clifford, 2004):

10.4.1 Masaje relajante de espalda

- Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- Procedimiento de presión superficial al inicio y finalización del masaje.
- Procedimiento de frotaciones superficiales.
- Procedimiento de rodamiento.
- Procedimiento de vaciado venoso.
- Procedimiento de frotaciones profundas.
- Procedimiento de fricciones.
- Procedimiento de fricción transversa escapular.
- Procedimiento de amasamiento.
- Procedimiento de pellizcamiento.
- Procedimiento de presión profunda.
- Procedimiento de vibraciones.
- Procedimiento de sacudidas para finalizar el masaje.

10.4.2 Amputaciones

- Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- Procedimiento de frotaciones profundas.
- Procedimiento de presión profunda progresiva.
- Procedimiento de vibración.
- Procedimiento de percusión, con dedos y palma de la mano.

10.4.3 Algodistrofias en extremidades superiores e inferiores

- Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- Procedimiento de frotaciones profundas.
- Procedimiento de fricción en aquellas zonas de mayor tensión.
- Procedimiento de presión en dedos, palma de la mano y planta del pie.
- Procedimiento de percusiones progresivas, evitando producir algias en áreas corporales.

10.4.4 Atrofia muscular

- a) Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- b) Procedimiento de frotaciones profundas.
- c) Procedimiento de amasamiento.
- d) Procedimiento de pellizcamiento.
- e) Procedimiento de percusión.

10.4.5 Enfermedades respiratorias donde deben eliminarse secreciones bronquiales

- a) Procedimiento de frotaciones profundas.
- b) Procedimiento de percusión-*clapping*.
- c) Procedimiento de vibración.
- d) Procedimiento de presión para facilitar la expectoración.

10.4.6 Capsulitis retráctil

- a) Procedimiento de frotaciones profundas.
- b) Procedimiento de fricción.
- c) Procedimiento de amasamiento periarticular.

10.4.7 Cefaleas

- a) Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- b) Procedimiento de presión superficial al inicio y finalización del masaje.
- c) Procedimiento de frotaciones superficiales al inicio y finalización del masaje.
- d) Procedimiento de rodamiento.
- e) Procedimiento de vaciado venoso.
- f) Procedimiento de presión.
- g) Procedimiento de amasamiento.

10.4.8 Cervicalgia

- a) Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- b) Procedimiento de presión superficial al inicio y finalización del masaje.
- c) Procedimiento de frotaciones superficiales.
- d) Procedimiento de rodamiento.
- e) Procedimiento de vaciado venoso.
- f) Procedimiento de frotaciones profundas.
- g) Procedimiento de amasamiento.
- h) Procedimiento de pellizcamiento.
- i) Procedimiento de presión profunda.
- j) Procedimiento de vibraciones.
- k) Procedimiento de sacudidas para finalizar el masaje.

10.4.9 Cicatrices retráctiles

- a) Procedimiento de frotaciones profundas al inicio y finalización del masaje.
- b) Procedimiento de fricción.

10.4.10 Dorsalgia

- a) Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- b) Procedimiento de presión superficial al inicio y finalización del masaje.
- c) Procedimiento de frotaciones superficiales.
- d) Procedimiento de rodamiento.
- e) Procedimiento de vaciado venoso.
- f) Procedimiento de frotaciones profundas.
- g) Procedimiento de amasamiento.
- h) Procedimiento de presión profunda.
- i) Procedimiento de vibraciones.
- j) Procedimiento de sacudidas para finalizar el masaje.

10.4.11 Entensitis

- a) Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- b) Procedimiento de presión superficial al inicio y finalización del masaje.
- c) Procedimiento de frotaciones superficiales.
- d) Procedimiento de fricción transversa profunda de Cyriax.
- e) Procedimiento de amasamiento lento.
- f) Procedimiento de rodamiento.

10.4.12 Epicondilitis

- a) Procedimiento de frotaciones profundas al inicio y final del masaje.
- b) Procedimiento de amasamiento.
- c) Procedimiento de rodamiento en musculatura epicondilea.
- d) Procedimiento de presión.
- e) Procedimiento de fricción transversa profunda de Cyriax.

10.4.13 Epitrocleititis

- a) Procedimiento de frotaciones profundas al inicio y final del masaje.
- b) Procedimiento de amasamiento.
- c) Procedimiento de rodamiento en músculos epitrocleares.
- d) Procedimiento de presión.
- e) Procedimiento de fricción transversa profunda de Cyriax.

10.4.14 Lumbalgia

- a) Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- b) Procedimiento de presión superficial al inicio y finalización del masaje.
- c) Procedimiento de frotaciones superficiales.
- d) Procedimiento de rodamiento.
- e) Procedimiento de vaciado venoso.
- f) Procedimiento de frotaciones profundas.
- g) Procedimiento de amasamiento.
- h) Procedimiento de presión profunda.
- i) Procedimiento de vibraciones.
- j) Procedimiento de sacudidas para finalizar el masaje.

10.4.15 Tendinitis

- a) Procedimiento de roce superficial al inicio y finalización del masaje.
- b) Procedimiento de presión sobre la zona exacta del tendón lesionado.
- c) Procedimiento de fricción transversa profunda de Cyriax.

El ejercicio físico terapéutico: alteraciones posturales

Blanca de la Cruz Torres*, Sara Cruz Sicilia**

*Doctora por la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. Profesora del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

**Profesora del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Evolución histórica del ejercicio físico 235

Conceptos básicos necesarios para el diseño de programas de ejercicio físico terapéutico en pacientes con alteraciones posturales y del movimiento 238

Valoración funcional de los pacientes con alteraciones posturales y del movimiento 239

Análisis biomecánico de la estática y la dinámica: análisis dinámico-postural 239
Cualidades físicas 239

Prescripción del ejercicio físico terapéutico en sujetos con alteraciones posturales 240

El Pilates fisioterapéutico para reeducar la postura y el movimiento 244

Fase 1: fase de concienciación propioceptiva o fase inicial del tratamiento activo 246

Fase 2: fase de la normalización del movimiento consciente o fase intermedia 247

Fase 3: fase de la optimización del movimiento o fase avanzada 247

Frecuencia del ejercicio 248

Intensidad del ejercicio 248

Duración del ejercicio 248

Modalidad del ejercicio 248

Progresión 249

235

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL EJERCICIO FÍSICO

El ejercicio físico siempre ha estado presente a lo largo de la historia como elemento indisoluble de la actividad humana. Desde tiempos primitivos hasta la Edad Moderna, la actividad física ha constituido un papel fundamental teniendo siempre unos objetivos concretos en función de las características culturales, económicas, sociales y/o políticas. De este modo, y a lo largo de la historia, el ejercicio físico se ha utilizado con diferentes fines: de supervivencia, preparación para la guerra, esparcimiento, ser más eficiente, mejora de la salud, con fin educativo, etc.

En la Prehistoria y durante muchos millones de años los seres humanos consumían grandes cantidades de energía como consecuencia de su actividad diaria enfocada en la búsqueda de alimento, desarrollando sistemas de gran eficacia para su producción y almacenamiento. Sin embargo, desde mediados del siglo XIX, el proceso científico y tecnológico ha hecho que los seres humanos que viven en los países desarrollados, fundamentalmente, se encuentren mal adaptados a un tipo de vida en la que existe una disponibilidad muy grande de energía y, sin embargo, el estilo de vida sedentario no requiere la realización de grandes esfuerzos físicos.

En la actualidad predomina un estilo de vida sedentario. Sin embargo, en muchas generaciones ha estado presente la asociación entre el ejercicio físico y la mejora del estado de salud. Ya en las antiguas civilizaciones de China, India y Grecia (3000-1000 a.C.), el ejercicio físico se utilizaba como método para reforzar y limpiar la mente y el cuerpo (Aznar y Webster, 2008). Hipócrates, en la Antigua Grecia, consideraba que el ejercicio físico era muy importante para limpiar y nutrir el alma y en esta línea apuntaba que «todas aquellas partes del cuerpo que tienen una función, si se usan con moderación y se ejercitan en el trabajo para el que están hechas, se conservan sanas, bien desarrolladas y envejecen lentamente, pero si no se usan y se deja que holgazaneen, se convierten en enfermizas, defectuosas en su crecimiento y envejecen antes de hora» (Abadal, 2004).

Los grandes avances tecnológicos siempre se pusieron al servicio del ser humano y permitieron el desarrollo de un gran número de investigaciones que posibilitaron una mejor comprensión del funcionamiento del organismo y de su comportamiento frente al ejercicio físico. Esto permitió una rápida evolución de la fisiología del ejercicio, de lo que derivó un interés creciente por el desarrollo de la capacidad aeróbica dentro del concepto de salud. Se desarrollaron los tests de esfuerzo y el concepto de umbral anaeróbico. Un hito a destacar fue la creación del Laboratorio de Fatiga de Harvard en 1927 porque se considera que en él nacen los padres de la disciplina y del entrenamiento aeróbico (López, 2006).

Si nos remontamos a los primeros escritos que se publicaron en España sobre el ejercicio físico (Salamanca, en el año 1553) hemos de citar al Dr. Méndez, quien apuntaba que «el ejercicio se inventó para limpiar el cuerpo cuando éste estaba demasiado lleno de cosas dañinas, y el ejercicio iba acompañado de placer y alegría» (Aznar y Webster, 2008). A principios del siglo XVIII, Ramazzini, médico italiano considerado el padre de la medicina ocupacional, incentivaba a los sastres a que practicasen actividad física en vacaciones, los días de fiesta o durante ciertos intervalos del día para compensar el daño producido por todos los días de sedentarismo (Aznar y Webster, 2008). En 1806, Ricketson escribía que «...el ejercicio no es menos esencial para la salud que la hidratación, la comida y el sueño; es por eso por lo que vemos a las personas cuyas circunstancias, preferencias o situación laboral no les permiten realizar ejercicio, cada vez más pálidas, débiles y casi enfermas».

A finales del siglo XIX y mediados del siglo XX, el rol terapéutico del ejercicio físico recobró un gran interés, pero no fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando empezaron a realizarse investigaciones científicas que respaldasen la relación existente entre la actividad física y la salud (Aznar y Webster, 2008). Investigaciones como la de Morris et al (1953a) mostraron el efecto protector que el ejercicio físico tenía frente a la enfermedad cardiovascular (ECV), y que podía tratarse de un factor que disminuyese las muertes por esta causa frente al sedentarismo (Aznar y Webster, 2008). Por otro lado, el médico sueco Jonas Gustav Wilhelm Zander (1835-1920), considerado por muchos el padre del ejercicio terapéutico y la mecanoterapia, trató a muchos niños con problemas de salud utilizando como herramienta terapéutica el ejercicio físico y la ayuda de determinados aparatos mecánicos con el objetivo de facilitarles la realización de movimientos (De la Peña, 2008).

Ya en el siglo XX, fueron DeLorme y Watkins (1945) quienes establecieron una de las rutinas de entrenamiento de la fuerza más seguidas mundialmente desde entonces hasta nuestros días. Crearon el concepto de 1 RM y 10 RM. Así, el 1 RM es el peso máximo con el que un individuo puede realizar un ejercicio o movimiento y, de forma homóloga, el 10 RM es la mayor resistencia que una persona puede vencer al realizar 10 repeticiones de un determinado movimiento (Jay, 1992).

A lo largo de las décadas de 1970 y 1980, el interés social por el ejercicio y el *fitness* aumentó y los estudios realizados demostraron el efecto beneficioso del ejercicio aeróbico. Desde entonces hasta ahora, el American College of Sports Medicine (ACSM) ha ido proporcionando recomendaciones específicas para la práctica de ejercicio físico. En el año 1975 publicó la primera edición del libro *ACSM's Guidelines for Graded Exercise Prescription and Exercise Prescription* que ha tenido una gran trascendencia en el ámbito de las ciencias del ejercicio, de la medicina clínica y de la fisioterapia-rehabilitación (Aznar y Webster, 2008).

En la década de 1990 fue incrementándose la información y la investigación en esta disciplina. En 1992, la American Heart Association (AHA) elaboró un informe en el que identificó a la inactividad física como uno de los cuatro factores de riesgo modificables de la enfermedad cardiovascular junto con el hábito tabáquico, la hipertensión y la dislipemia. También se reconoció el valor de la actividad física moderada para los sujetos sedentarios.

En la segunda mitad de la década de 1990, organismos como los Centers for Disease Control and Prevention (CDC) y el ACSM, el Instituto Nacional de Salud de EE.UU. y la Organización Mundial de la Salud (OMS), reconocieron la necesidad de la práctica regular de ejercicio físico para preservar la salud y prevenir un gran número de enfermedades crónicas asociadas con el sedentarismo y el estilo de vida.

Así, el ejercicio físico aeróbico es el que clásicamente se ha relacionado con la salud y el que se ha prescrito con este objetivo (Aznar y Webster, 2008). A medida que las investigaciones y el desarrollo tecnológico lo han ido permitiendo, se ha profundizado en el conocimiento de la fisiología del ejercicio y, por tanto, las recomendaciones del ejercicio aeróbico han ido variando a lo largo de la historia (Aznar y Webster, 2008). A partir de la década de 1980, los estudios realizados empezaron a proporcionar datos en los que el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia muscular estaba asociado con la reducción de los factores de riesgo para las ECV, la diabetes no dependiente de insulina, el cáncer de colon, la prevención de la osteoporosis, el mantenimiento y la pérdida de peso corporal, la mejora de la estabilidad dinámica, el mantenimiento de la capacidad funcional, la mejora del estado psicológico y del bienestar y, por encima de todo, la mejora de la calidad de vida. Es por ello por lo que el ACSM en 1990 incluyó que, además de mantener el *fitness* cardiorrespiratorio, había que mantener y/o mejorar el *fitness* muscular, haciendo referencia a la fuerza y a la resistencia muscular. La incorporación de la flexibilidad como parte integrante del acondicionamiento físico fue posterior. El ACSM lo integró en sus posicionamientos en 1998 como respuesta a la creciente evidencia científica de sus beneficios al aumentar la amplitud de movimiento y la función de las articulaciones, al mejorar el rendimiento muscular y, posiblemente, por su efecto positivo en la prevención y el tratamiento de lesiones musculoesqueléticas (ACSM, 1998).

Es importante diferenciar entre la condición física relacionada con la salud y la condición física para lograr un rendimiento deportivo (Aznar y Webster, 2008). El ejercicio terapéutico o aquel ejercicio físico utilizado para prevenir o tratar disfunciones o patologías orgánicas y, fundamentalmente, del aparato locomotor, debe englobarse dentro de la condición física relacionada con la salud. En esta línea de trabajo también puede establecerse una evolución acorde a los cambios históricos, sociales y a los avances tecnológicos que se han sucedido en el siglo xx. En este sentido, Sahrman (2006) diferencia cuatro etapas relacionadas con la reeducación del movimiento: la primera etapa estuvo centrada en la disfunción de los *sistemas musculoesqueléticos y neuromuscular periférico* para tratar las heridas de guerra y la poliomielitis. Posteriormente, los tratamientos se centraron en la disfunción del *sistema nervioso central* con objeto de tratar los accidentes cerebrovasculares (ACV) y las lesiones neurológicas en general. Más tarde, los esfuerzos reeducadores se centraron en la *disfunción articular* con la evaluación del movimiento articular para determinar el origen del dolor o la disfunción. En última instancia, y en donde se encuadran las tendencias más actuales, hay que citar los métodos centrados en el *sistema de movimiento*. Sahrman (2006) habla de síndromes dolorosos, y Comerford y Mottram (2001a y 2001b), de disfunción de la estabilidad.

En la evolución del concepto de ejercicio físico terapéutico puede apreciarse cómo se ha impuesto el análisis y la concepción tridimensional del cuerpo, teniendo presente el efecto

compensatorio de los desequilibrios musculares. Esta visión holística del cuerpo humano ha permitido que los protocolos fisioterapéuticos evolucionen desde el diagnóstico y el tratamiento sintomático y localizado a una evaluación global en búsqueda de la disfunción primaria que provoca todo el desequilibrio que presenta el individuo en un momento dado (Pilat, 2003). Mezières fue quien desarrolló el concepto de cadena muscular, contemplando fundamentalmente dos cadenas musculares: la maestra posterior y la maestra anterior, y teniendo presente de forma más específica el comportamiento de la columna y su relación con los miembros inferiores (Denys-Struyf, 2004). Después, muchos de sus alumnos han ido creando sus propias líneas de trabajo. Phillipe Souchard desarrolla la reeducación postural global (RPG), estableciendo también la conexión de la columna con los miembros superiores, a través de las cadenas anterior y superior de los brazos (Souchard, 2005). Léopold Busquet describe las seis cadenas musculares diferentes, incluyendo las cadenas cruzadas y su relación con la función visceral y el eje cráneo-sacro (Busquet, 2001, 2002, 2003, 2004). Y Campignon (2000, 2002) profundiza en la interrelación con el aspecto comportamental, relacionando cada cadena muscular con una actitud psíquica.

Por otro lado, centrándose en el análisis de todos los sistemas orgánicos que intervienen en la postura, se encuentra la posturología clínica presentada por Gagey y Weber (2001).

En la actualidad, como resultado de la integración de todos los circuitos musculares, el análisis de los diferentes sistemas musculares y la importancia de los sistemas vestibular, visual y somatosensorial como organizadores de la postura, se articula y desarrolla el Pilates fisioterapéutico, el cual va adquiriendo cada vez más popularidad y respaldo científico (Benítez-Lugo, 2011).

Este recorrido histórico nos permite entender el enraizamiento del ejercicio terapéutico y considerarlo como una nueva herramienta terapéutica para la prevención de la enfermedad, promoción de la salud y estilos de vida saludables, así como el tratamiento de multitud de trastornos físicos.

CONCEPTOS BÁSICOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE EJERCICIO FÍSICO TERAPÉUTICO EN PACIENTES CON ALTERACIONES POSTURALES Y DEL MOVIMIENTO

El objetivo general de cualquier programa de ejercicio terapéutico para personas con alteraciones posturales es conseguir una postura lo más fisiológica posible, que permita la ejecución de movimientos normales sin dolor o, lo que es igual, que proporcione una funcionalidad eficaz, eficiente y asintomática.

Un *desequilibrio muscular* es una situación en la cual algunos músculos se inhiben y debilitan, mientras otros se hiperactivan, acortándose y perdiendo su extensibilidad (Janda, 2003). Debido al modelo biomecánico que proporciona la tensegridad, quedando estructuralmente fundamentado por el diseño interno y funcionamiento del sistema fascial, es imposible pensar que un desequilibrio muscular afecta sólo a un segmento o región corporal, de modo que siempre tendremos que valorar y tener en cuenta el desequilibrio postural y dinámico globales (Janda, 2003; Pilat, 2003).

Cuando un individuo posee un desequilibrio muscular y éste cursa con algias puntuales, difusas o generalizadas, será el fisioterapeuta el profesional encargado de ayudarle o poner a su disposición los medios necesarios para recuperar la homeostasis de su organismo. En un primer momento, aplicará los diferentes procedimientos terapéuticos indicados (electroterapia, termoterapia, crioterapia, terapia manual, etc.) pero, una vez pasada la fase aguda y habiéndose regulado o normalizado las causas estructurales que provocan las algias, es importante incidir sobre los factores causales derivados de los malos hábitos posturales y motrices. En caso de no hacerlo, éstos actuarán fijando o reproduciendo los desequilibrios musculares que promoverán y desencadenarán reiteradamente la sintomatología (Liebenson 2003; Pilat, 2003). Si no se identifican con claridad todos los músculos que intervienen en el desequilibrio muscular y su

comportamiento dentro del desequilibrio global, la práctica de ejercicio físico puede incidir positivamente sobre el estado de forma general del individuo, pero la repercusión sobre la mejora de las alteraciones posturales y funcionales será mínima (Janda, 2003), y puede incluso reprogramar los patrones motrices erróneos ya instaurados (Sahrmann 2006; Cruz et al, 2011).

El Pilates fisioterapéutico es el método que actualmente incorpora dentro de su *modus operandi* los diferentes factores que intervienen en el acondicionamiento físico, es decir, el trabajo de la fuerza, la resistencia muscular y la flexibilidad (Kloubec, 2004; Sekendiz, 2007), valora y orienta los ejercicios para la resolución de los desequilibrios posturales y educa los patrones de activación muscular correctos (Brown, 1996; McLain, 1997; McMillan, 1998; Herrington, 2005; Johnson, 2007; Emery, 2010). En este sentido, Cruz (2009) apunta que el Pilates fisioterapéutico puede considerarse la herramienta de transición entre la terapia manual y la reeducación funcional óptima, siendo necesario si se quiere otorgar al paciente un rol activo dentro de su proceso de recuperación y compromiso con el cuidado de su salud. Por estos motivos será la metodología de trabajo que exponamos en este capítulo.

VALORACIÓN FUNCIONAL DE LOS PACIENTES CON ALTERACIONES POSTURALES Y DEL MOVIMIENTO

Todo diseño de un programa de ejercicio físico terapéutico necesita de una valoración funcional previa muy exhaustiva. La evaluación del estado de salud previa a la realización de cualquier programa de ejercicio físico terapéutico es necesaria por tres motivos: establecer el nivel de partida, adecuar el programa a las necesidades de la persona y prevenir las posibles lesiones.

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA ESTÁTICA Y LA DINÁMICA: ANÁLISIS DINÁMICO-POSTURAL

La postura y el movimiento están íntimamente relacionados entre sí. Y ambos, a su vez, con la fuerza, la resistencia y la flexibilidad muscular (Kisner y Allen, 2005).

En un principio, podríamos decir que la postura se encuentra más estrechamente vinculada con la resistencia muscular ya que son los músculos tónicos, muy resistentes a la fatiga, los responsables de su mantenimiento. Sin embargo, ante su debilidad, será la musculatura más superficial o fásica la que asuma esta función estableciéndose, de este modo, una alteración postural y dinámica (Comerford, 2001a y b). Para valorar la *postura* y, por tanto, las alteraciones posturales, clásicamente se ha utilizado la *línea de plomada* en las diferentes vistas (anterior, posterior y ambos laterales) (Vasilyeva, 2003). Actualmente también se emplean otros sistemas más precisos y novedosos como los *posturógrafos* y las *plataformas estabilométricas*.

Para valorar el *movimiento* también existen procedimientos específicos con instrumentos de laboratorio como son la *fotogrametría* y los *sistemas de análisis del movimiento* en tres dimensiones.

En este sentido, no podemos olvidar la importancia de la eficiencia y funcionalidad de los gestos motores. Para su evaluación, Sahrmann (2006) propone evaluar la coordinación intramuscular e intermuscular o *timing muscular correcto*. Con este fin se utiliza la *electromiografía*, en la que cada músculo y cada movimiento tienen su forma de ser evaluados. El electromiógrafo recoge la activación muscular a través de electrodos de superficie para los músculos más superficiales y los electrodos de aguja para el registro de los músculos profundos. Con el registro obtenido se verá cuál es el orden de reclutamiento muscular en el movimiento evaluado y, en caso de estar alterado, se deberá proceder a la reeducación y reaprendizaje motor.

Cualidades físicas

Las cualidades físicas que tienen mayor relevancia en un programa de reeducación de la postura y del movimiento son la fuerza y la resistencia muscular, así como la flexibilidad. Por ello

serán estas tres cualidades las que pasemos a valorar en un paciente de forma previa a la incorporación en un programa de estas características.

Fuerza y resistencia muscular

La fuerza muscular es la capacidad de producir tensión que tiene el músculo al activarse, es decir, al entrar en relación los filamentos de actina y miosina y establecerse los puentes cruzados (González, 2002). En un programa de reeducación de la postura y el movimiento es importante saber qué músculos se encuentran débiles y, por tanto, deben ser fortalecidos. Para ello se utiliza el *Test 1 RM* (Garatachea, 2010). Generalmente se mide como el peso máximo que puede levantar una persona en una sola repetición de un determinado movimiento. El valor del 1 RM se obtiene mediante el sistema ensayo-error. Después de cada intento con éxito, hay que aumentar el peso el 5-10% para grupos musculares del tronco y del tren superior, y el 10-20% para músculos de tren inferior (Garatachea, 2010). Tradicionalmente, en la fisioterapia asistencial también se utiliza la *escala de Daniels* (Hislop, 2003).

Para la valoración de la fuerza y coordinación de la musculatura que estabiliza la columna vertebral se emplea un *biofeedback de presión*, el cual registra cualquier movimiento de las diferentes curvas raquídeas, que deben permanecer inalterables o modificarse mínimamente ante el movimiento de las extremidades (Cairns, 2000; Norris, 2007).

Flexibilidad

El *goniómetro* es el instrumento más empleado para medir la flexibilidad de una articulación de forma directa, puesto que mide el rango de movimiento (ángulo máximo que una articulación puede alcanzar) (Garatachea, 2010). El goniómetro es similar a un medidor de ángulo de dos ramas móviles, de modo que el centro del goniómetro se hace coincidir con el fulcro de la articulación, y las ramas móviles, con el eje longitudinal de cada segmento que forma la articulación (Garatachea, 2010). El rango de movimiento es el ángulo que forman los dos segmentos de la articulación medido en los extremos del movimiento. De forma análoga, pero para medir la movilidad de la columna vertebral, se emplea el *inclinómetro* (Sahrmann, 2006; Garatachea, 2010).

Sin embargo, aunque para evaluar la flexibilidad de un músculo en concreto es preciso aislarlo en su función o funciones específicas, en muchas ocasiones esto no es posible y tenemos que evaluar la longitud del grupo muscular o miofascial al que pertenecen. En la práctica asistencial esta situación se resuelve con el empleo de las *pruebas de campo* o *pruebas funcionales*, que miden la flexibilidad de forma indirecta, es decir, valoran la flexibilidad estática de diferentes estructuras miofasciales realizando mediciones lineales en determinadas posiciones. Sin embargo, y a pesar de que su validez es muy cuestionada, su uso está muy extendido y para el fisioterapeuta estas pruebas son muy interesantes puesto que le proporcionan mucha información acerca de los desequilibrios musculares y de las alteraciones del orden de reclutamiento que tiene el paciente (Garatachea, 2010).

Para poder diseñar una sesión individualizada de Pilates fisioterapéutico es imprescindible haber reconocido los desequilibrios musculares que presenta el paciente, así como los patrones de reclutamiento alterados que utiliza. Éstos serán los aspectos más relevantes que deberán trabajarse para reeducar la postura y el movimiento.

PRESCRIPCIÓN DEL EJERCICIO FÍSICO TERAPÉUTICO EN SUJETOS CON ALTERACIONES POSTURALES

La prescripción de los ejercicios que compone el Pilates fisioterapéutico está fundamentada en la organización sistemática que propone Panjabi (1992a y b) para explicar el mecanismo que proporciona la estabilidad espinal. Este autor establecía la existencia de un *subsistema de control pasivo*, compuesto por las vértebras, ligamentos, cápsulas articulares y el sistema fascial;

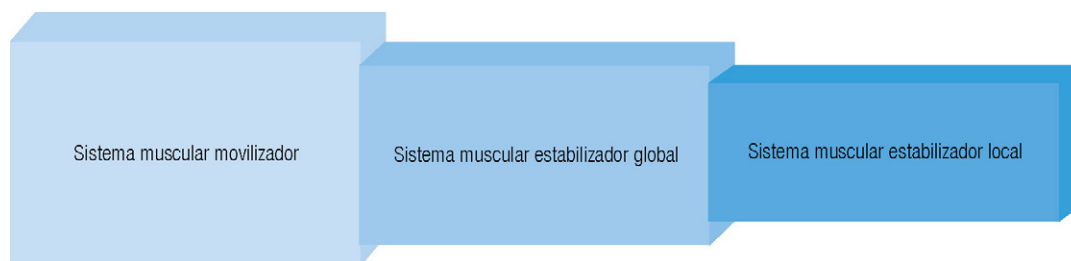


FIGURA 11.1 Organización espacial de los sistemas musculares. Los músculos del sistema estabilizador local se disponen en profundidad, los pertenecientes al sistema movilizador se encuentran en planos más superficiales y los del sistema estabilizador global suelen situarse en planos tisulares intermedios.

un subsistema de control activo formado por el componente muscular y tendinoso, y un tercer subsistema, el *neural*, integrado por el sistema nervioso central, periférico y todos los receptores que captan información de las estructuras en las que se encuentran. La concepción y clasificación del *subsistema de control activo* utilizada por el Pilates fisioterapéutico es la propuesta por Comerford y Mottram (2001a y b). Esta organización anatomofisiológica pretende facilitar la comprensión y el entrenamiento de la estabilidad articular y, especialmente, la estabilidad vertebral.

Desde esta perspectiva, Comerford y Mottram (2001a y b), basándose en las propuestas previas de Janda (1983, 1985), Bergmark (1989) y Sahrmann (2006), diferencian entre los músculos pertenecientes al sistema estabilizador local, los que integran el sistema estabilizador global y los que configuran el sistema movilizador global (llamaremos a este último, simplemente, movilizador por no existir ningún sistema movilizador local) (fig. 11.1).

El *sistema estabilizador local* está compuesto por músculos muy profundos y monoarticulares. Se encuentran inervados por neuronas motoras pequeñas, de diámetro reducido y con bajos umbrales de estimulación. Por tanto, conducen los potenciales de acción lentamente y generan contracciones lentas. Estas neuronas motoras llegan a las fibras musculares tipo I o lentas, que están ricamente vascularizadas, poseen gran cantidad de mitocondrias y obtienen la energía a través de un metabolismo muy oxidativo (Rhoades, 2009). Debido a estas características son músculos muy resistentes a la fatiga, o lo que es igual, estamos ante los músculos tónicos o encargados del control de la disposición espacial que adoptan las carillas articulares de los diferentes segmentos y, por tanto, son los responsables del mantenimiento de la postura.

Si nos centramos a nivel vertebral, su origen e inserción se distribuye segmentalmente, teniendo un brazo de palanca muy corto y no pudiendo, por tanto, generar movimientos de gran amplitud. Con esta localización, los músculos estabilizadores locales son los intertransversos, interespinosos, rotadores cortos y largos, los multifidos profundos, el largo del cuello, el largo de la cabeza y los suboccipitales. Algunos otros son los intercostales, las fibras medias e inferiores del trapecio, los rotadores profundos de la cadera, el glúteo medio, el pectíneo, los aductores corto y medio, etc.

En la región abdominopélvica, esta función estabilizadora la proporcionan el músculo transversal abdominal y el suelo pélvico en cocontracción y de forma sinérgica con los erectores espinales profundos ya citados, el músculo diafragma y el sostén biomecánico que proporciona la fascia toracolumbar (Pilates, 2003). Esta configuración tridimensional de la musculatura estabilizadora local coincide con la *cápsula abdominal* descrita por Sapsford (2001) y con el término *Powerhouse* empleado en el Pilates fisioterapéutico (Cruz, 2011). Es decir, tenemos un cilindro formado por el diafragma como límite superior, el suelo pélvico tapizando caudalmente, el transversal abdominal delimitando anterolateralmente el abdomen y las fibras más posteriores y profundas del psoas junto con los músculos erectores profundos por detrás (de forma genérica se habla de multifidos) (Fig. 11.2).

Una de las características fisiológicas más importantes de los músculos estabilizadores locales es que desarrollan una *contracción anticipatoria*, es decir, se activan antes de que tenga lugar cualquier movimiento, con independencia de la dirección de éste (Comerford y Mottram, 2001a y b). Esta

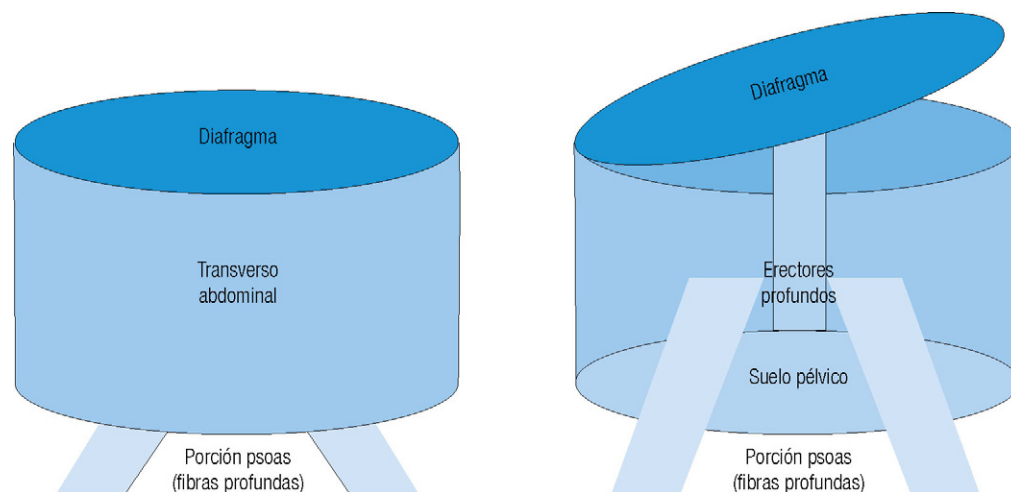


FIGURA 11.2 Organización espacial de los componentes del *Powerhouse* (músculos estabilizadores locales).

acción genera un aumento en la presión intraabdominal (PIA) que, utilizada convenientemente, favorecerá la estabilización de la región abdominopélvica. Además, la activación de estos músculos permite la permanencia de las carillas articulares en la zona neutral y el control intersegmental de las diferentes unidades vertebrales y de las articulaciones corporales (Panjabi, 1992a).

Estos músculos reaccionan ante una lesión, el dolor crónico o la instauración de malos hábitos posturales y mecánicos de diferentes formas: con una disminución del área de su sección transversal y perdiendo la capacidad de realizar la contracción anticipatoria al movimiento. Esto condiciona la generación y perpetuación de patrones de reclutamiento incorrectos y un pobre control segmentario (Comerford y Mottram 2001a y b; Sahrman, 2006). Si en un programa de ejercicios físicos terapéuticos incorporamos el entrenamiento de esta musculatura estaremos procurando una mayor eficiencia y estabilidad al sistema músculoesquelético, protegiéndolo de las enfermedades degenerativas asociadas con un estilo de vida sedentario, con trabajos que requieren de movimientos repetitivos o con aquellas disciplinas deportivas o de entrenamiento físico que utilizan y requieren elevadas cargas y/o en situaciones extremas.

Por el contrario, el *sistema movilizador* está formado por músculos de grandes dimensiones, poliarticulares y generadores de múltiples movimientos. Se encuentran inervados por neuronas motoras grandes, de gran diámetro y con alto umbral de estimulación sináptica. Por tanto, conducen los potenciales de acción rápidamente y generan contracciones rápidas. Estas neuronas motoras llegan a las fibras musculares tipo IIb, con menor cantidad de capilares y mitocondrias, por lo que también se denominan de «glucólisis rápida», apelando a su modo de obtención energética mediante procesos anaeróbicos (Rhoades, 2009). Como consecuencia de sus características fisiológicas, son músculos que realizan contracciones rápidas y generan grandes cantidades de fuerza, pero que se fatigan rápidamente. Estamos, por tanto, ante los músculos fásicos o encargados del movimiento. Algunos de estos músculos son los erectores espinales más superficiales, el dorsal ancho, el recto abdominal, los romboides, el pectoral mayor, el esternocleidomastoideo, los escalenos, las fibras superiores del trapecio, el angular de la escápula, el recto femoral, los isquiotibiales, etc. Como se puede observar, son músculos que tienen la posibilidad de generar movimientos de gran amplitud, sobre todo en el plano sagital (movimientos de flexoextensión). Su actividad es dependiente de la dirección del movimiento y funcionalmente suelen reclutarse de forma concéntrica. Son los músculos que absorben las cargas moderadas e intensas, generando la fuerza suficiente para la movilización y/o transporte de las mismas (Comerford y Mottram 2001a y b). Sus alteraciones más frecuentes son la pérdida de extensibilidad por sobreuso y por las excesivas demandas posturales y la hiperactividad por descenso del umbral de activación. Ante el dolor, las lesiones adyacentes y los cuadros patológicos reaccionan con espasmo (Comerford y Mottram 2001a y b).

Finalmente, *el sistema estabilizador global* está compuesto por músculos que suelen disponerse en un plano intermedio. Pueden considerarse mixtos, ya que su funcionamiento es más versátil y adaptativo. En ellos predominan las fibras tipo IIa, pero en este caso tienen mayores cantidades de mitocondrias y están más vascularizados que los músculos movilizadores. Tienen una alta capacidad de generar ATP y lo hacen a través de una oxidación rápida. Consecuentemente, estos músculos pueden considerarse antigravitatorios, ya que sus funciones principales son las de absorber y desacelerar (mediante contracciones excéntricas) los pequeños traumatismos o impactos externos desestabilizantes, sobre todo, en el plano axial (movimientos rotacionales) y generar fuerzas que controlen el rango de movimiento. En este caso, la contracción también es dependiente de la dirección del movimiento.

Algunos de estos músculos son los oblicuos abdominales, los multifidos superficiales, las fibras intermedias y oblicuas de los glúteos, las fibras oblicuas del cuadrado lumbar, la porción más superficial del psoas, el ilíaco, el serrato mayor, las fibras más superficiales del trapecio medio e inferior, etc.

Sus alteraciones más frecuentes son el alargamiento o acortamiento adaptativo, el pobre control excéntrico del movimiento y la escasa disociación en los movimientos rotacionales (Comerford y Mottram, 2001a y b; Sahrmann, 2006) (tablas 11.1 y 11.2.)

TABLA 11.1 Características anatómicas y funcionales de los diferentes sistemas musculares

Sistema	Estabilizador local	Estabilizador global	Movilizador global
Tipo de fibras	I (fibras lentas, fuerza tónica)	IIA (fibras rápidas, fuerza fásica)	IIB (fibras rápidas, fuerza fásica)
Funciones	- Control de la zona neutral (estabilidad vertebral y articular) - Activación independiente de la dirección del movimiento - Contracción anticipatoria	- Desaceleradores impactos - Control rango de movimiento - Movimiento en plano axial (rotaciones) - Dependientes de la dirección del movimiento	- Movimientos amplios - Generadores de fuerza y velocidad - Dependientes de la dirección del movimiento (flexión-extensión)
Músculos principales	Músculos <i>profundos</i> , cortos, monoarticulares: Intertransversos, interespinosos, rotadores cortos y largos, multifidos profundos, largo del cuello y de la cabeza, suboccipitales, intercostales, fibras medias e inferiores del trapecio, rotadores profundos de la cadera, glúteo medio, pectíneo, aductores corto y medio, etc.	Músculos <i>planos intermedios</i> : Oblicuos abdominales, multifidos superficiales, psoas superficial, fibras intermedias y oblicuas de los glúteos, fibras oblicuas del cuadrado lumbar, porción más superficial del psoas, ilíaco, serrato mayor, fibras más superficiales del trapecio medio e inferior, etc.	Músculos <i>superficiales</i> : Erectores espinales más superficiales, dorsal ancho, recto abdominal, romboides, pectoral mayor, esternocleidomastoideo, escalenos, las fibras superiores del trapecio, el angular de la escápula, recto femoral, isquiotibiales, etc.

TABLA 11.2 Alteraciones más frecuentes de los diferentes sistemas musculares y el modo de entrenamiento

Sistema	Estabilizador local	Estabilizador global	Movilizador global
Disfunción	– Disminución del área de su sección transversal – Pérdida de su capacidad de realizar la contracción anticipatoria – Patrones de reclutamiento alterados – Pobre control segmentario	– Alargamiento adaptativo – Acortamiento adaptativo – Pobre control excéntrico del movimiento – Pobre disociación en los movimientos rotacionales	– Pérdida de extensibilidad – Hiperactividad – Espasmo
Modo entrenamiento	– 10 contracciones lentas y de poca intensidad (al 25% de la contracción voluntaria máxima o de 1 RM), pero mantenidas durante 10 s cada una – Uso de <i>biofeedback</i> (táctiles, presión)	– 15-20 contracciones concéntricas – 10 contracciones excéntricas, (manteniendo 10 s), partiendo de la posición más acortada y solicitando la contracción excéntrica – Movimientos rotacionales	– Reestabilización inhibitoria activa. Mantener la posición-contracción 20-30 segundos (3-5 repeticiones) – Estiramientos

EL PILATES FISIOTERAPÉUTICO PARA REEDUCAR LA POSTURA Y EL MOVIMIENTO

El Pilates fisioterapéutico entiende, organiza y propone una serie de ejercicios teniendo en cuenta esta clasificación del subsistema activo. Pero antes de describir la progresión del entrenamiento desde esta perspectiva, vamos a presentar los aspectos históricos y filosóficos más representativos de esta forma de entender el cuerpo y el movimiento.

El Método Pilates nació de manos de Joseph Hubertus Pilates (1880-1967). Aunque no de forma rigurosa y científica, el método siempre estuvo muy vinculado a la terapéutica. En un primer momento, el mismo Pilates, debido a que durante su niñez había padecido asma, fiebre reumática y raquitismo, buscó su sanación a través del ejercicio físico (Latey, 2001). Posteriormente, durante la Primera Guerra Mundial, ayudó a los tullidos de guerra, ubicados en la Isla de Man, en su proceso de recuperación y rehabilitación (Latey, 2001). Posteriormente, su expansión se generalizó dentro del mundo de la danza y los monitores deportivos. En los últimos años, profesionales del movimiento, del acondicionamiento físico y de la salud han empezado a tener simpatía por el método y gracias a este interés, al incremento de las investigaciones puestas en marcha, al aumento de la producción científica en torno a esta temática y a su transferencia al ámbito asistencial, el método Pilates se ha convertido en uno de los grandes reclamos de las consultas de fisioterapia, gimnasios y estudios de biomecánica. A pesar de que las evidencias científicas aún son escasas, el número de trabajos rigurosos sobre el tema está creciendo rápidamente. Este hecho empieza a posibilitar el establecimiento de un abordaje más científico, facilitando la rigurosidad de su aplicación, la medición y cuantificación de sus beneficios y el

asentamiento de pautas o protocolos generales de actuación. Dentro de esta perspectiva de trabajo no podemos olvidar que el método Pilates sólo debe entenderse desde la aplicación de los nuevos conocimientos, adaptaciones e incorporaciones que se han ido entretejiendo en los últimos años, ya que la práctica indiscriminada de toda la batería de ejercicios del Pilates tradicional puede promover la aparición de lesiones (Reyneke 2009), especialmente osteomusculares, tendinosas y uroginecológicas (Hidalgo, 2010; Cruz et al, 2011).

Podemos definir el Pilates fisioterapéutico como: «el método terapéutico, preventivo y readaptativo que, sustentándose en los principios, conceptos y técnicas de Joseph Pilates, consigue un control dinámico-postural fisiológico, basándose en el conocimiento de la biomecánica y análisis de la patomecánica del individuo, y adaptando el ciclo respiratorio y los ejercicios a sus necesidades» (EFIS-Pilates, 2009).

Teniendo presente esta definición, el Pilates fisioterapéutico es el resultado de la comprensión del movimiento humano y de su aplicación desde la perspectiva de la prevención y la terapéutica. Para poder comprender su dinámica de trabajo resulta imprescindible citar y describir brevemente sus *pilares metodológicos*. Por un lado, mantiene los principios fundamentales que Pilates y Miller (1945) dejaban entrever en su obra y que posteriormente fueron asumidos por el Pilates tradicional (Lately, 2001), que son: la concentración, el control, el centro, la precisión, la respiración y la fluidez. También integra aquellos principios que incorpora la Pilates Method Alliance (PMA, 2006): el movimiento de todo el cuerpo, el equilibrio muscular y el ritmo. Pero, además, propone como elementos fundamentales ciertos componentes más específicos del arsenal fisioterapéutico; esto es, el trabajo en alineación fisiológica o zona neutral de las diferentes articulaciones de la columna vertebral y las extremidades, la elongación axial o autocrecimiento, la realización de movimientos sin compensaciones y con el *timing* muscular correcto y el desarrollo de la propiocepción y de la disociación segmental e intervertebral (Cruz, 2009; Cruz et al, 2011).

En la posición de partida de los diferentes ejercicios, las articulaciones, fundamentalmente en el eje corporal, se encuentran dentro de la zona neutra (Panjabi, 1992a y b) o posición fisiológica (Brown, 1996; McLain, 1997; McMillan, 1998; Kloubec, 2004; Herrington, 2005; Johnson, 2007; Norris, 2007; Sekendiz, 2007; Isacowitz, 2009; Emery, 2010). Desde esta posición inicial se van a ejecutar todos los ejercicios teniendo como eje vertebrador la respiración del sujeto/paciente. El patrón respiratorio más utilizado es la *respiración posterolateral en tres dimensiones (3D)*; es decir, aquella en la cual la expansión que provoca el aire inspirado se centra en la porción media e inferior de la parrilla costal seguida de una espiración en la que se contraen ligeramente los músculos pertenecientes al *Powerhouse* (Cruz, 2011). Recordamos que éste, desde nuestra concepción fisioterapéutica, se compone de la musculatura perteneciente al sistema estabilizador local de la región abdominopélvica, que ya describimos anteriormente.

Por este motivo, y partiendo de la organización muscular que Comerford y Mottram (2001a y b) establecieron, el Pilates fisioterapéutico propone focalizar la atención y reeducar el *Powerhouse* y la musculatura estabilizadora local en un primer momento. Y terminar el reaprendizaje motriz insistiendo en la musculatura más superficial. Esto supone un cambio en la estructura de los programas de acondicionamiento físico tradicionales y las recomendaciones dadas por el ACSM (1998, 2002). Este organismo propone una progresión de los ejercicios que va desde lo más general (movimientos amplios, que afecten a muchas articulaciones y movilicen grandes cargas) a lo más específico (movimientos de una o pocas articulaciones y con cargas pequeñas). Sin embargo, en el Pilates fisioterapéutico se propone empezar por la búsqueda y reconocimiento de la zona neutral de las articulaciones e ir desde la contracción local (poca o ninguna amplitud de movimiento y mínima carga) y el control postural, hacia el desarrollo de grandes movimientos contra grandes resistencias y retos propioceptivos y coordinativos.

Siendo ésta la idea central de la progresión de las sesiones de un programa de Pilates fisioterapéutico, procedemos a describir muy brevemente las diferentes fases en las que debemos estructurar el plan de reeducación de la postura y el movimiento (Cruz, 2011) (tabla 11.3):

TABLA 11.3 Fases de la reeducación de la postura y el movimiento con un programa de Pilates fisioterapéutico

	Fase 1: Concienciación propioceptiva	Fase 2: Normalización del movimiento	Fase 3: Optimización del movimiento
Objetivos	– Realizar los ejercicios sin dolor – Recuperar estabilidad articular – Entrenar disociación segmental e intervertebral – Incrementar conciencia corporal (propiocepción)	– Entrenar estabilidad dinámica – Aprender patrones de reclutamiento correctos	– Automatizar los patrones motores correctos – Conseguir la máxima eficiencia en AVD, trabajo, deporte, etc.
Medios	– Aprender cómo deben contraerse los músculos del <i>Powerhouse</i> (músculos estabilizadores locales) – Insistir en la contracción anticipatoria – Utilizar estrategias de facilitación – Emplear <i>biofeedback</i> (de presión, visual, táctil, etc.)	– Incorporar más exhaustivamente los componentes del sistema estabilizador global – Integrar la contracción anticipatoria en todos los movimientos	– Desafiar el trabajo de musculatura profunda (estabilizadora local y global) – Incorporar más específicamente la participación de los músculos movilizadores
Ejercicios	– Centrados en la activación de la musculatura profunda (10 contracciones lentas, 25% 1 RM, mantenidas 10 s) – Movimientos de poca amplitud, suaves, lentos – Muchos estímulos propioceptivos. – Trabajo de la estabilidad articular	– Aumenta la amplitud del movimiento – Lentos, de baja intensidad, en el rango de movimiento controlado por el músculo a reeducar – Contracciones concéntricas: 15-20 repeticiones – Contracciones excéntricas: 10 × 10 s – Dificultad creciente – Entrenamiento para las AVD	– De complejidad creciente – Grandes amplitudes de movimiento – Grandes retos propioceptivos y coordinativos – Explosivos y de ejecución rápida – Cargas medias-moderadas a altas – Estiramientos y reestabilización inhibitoria activa (mantener la posición-contracción durante 20-30 s, realizando 3-5 repeticiones)

AVD: actividades de la vida diaria.

FASE 1: FASE DE CONCIENCIACIÓN PROPIOCEPTIVA O FASE INICIAL DEL TRATAMIENTO ACTIVO

Los *objetivos principales* de esta fase son: evitar la práctica de ejercicio con dolor, recuperar la estabilidad a través del reconocimiento y activación del sistema estabilizador local, fundamentalmente, y entrenar la disociación segmental e intervertebral mediante el aprendizaje de los patrones de reclutamiento muscular adecuados.

Esta fase debe iniciarse enseñando cómo se contraen y deben contraerse los músculos pertenecientes al *Powerhouse*. Comerford y Mottram (2001a) proponen realizar 10 contracciones lentas y de poca intensidad (al 25% de la contracción voluntaria máxima o de 1RM), pero mantenidas durante 10 segundos cada una. Al tratarse de musculatura muy profunda y tendiente a la debilidad, es muy importante utilizar las estrategias de facilitación apropiadas,

entre las que se deben encontrar el uso de gran número de aferencias propioceptivas, así como el empleo de *biofeedback* táctil y visual e incrementar la conciencia desde el punto de vista cognitivo.

Una vez conseguido esto, aunque los ejercicios afectan a más musculatura, se realizarán con movimientos lentos y con contracciones suaves que favorezcan la contracción anticipatoria de la musculatura estabilizadora local. Los movimientos deben ser de escasa amplitud articular, con brazos de palanca cortos y pocas repeticiones. Se recomienda la ausencia de cargas o la utilización de cargas bajas y el empleo de materiales o implementos que faciliten la ejecución del movimiento, siendo pocas las articulaciones afectadas en éste (Comerford y Mottram, 2001a y b).

Por la dificultad de la enseñanza de la contracción correcta de esta musculatura profunda se recomienda el empleo del *biofeedback* de presión para controlar la estabilidad lumbopélvica y de un *biofeedback* intracavitario para monitorizar el estado del suelo pélvico durante los ejercicios. Esta consideración es muy importante puesto que una hiperpresión abdominal excesiva y continuada supone un microtraumatismo de repetición sobre los músculos del suelo pélvico que, en el caso de la mujer, puede derivar en problemas uroginecológicos o agravar los ya existentes (Caufriez, 1997; Hidalgo, 2010).

FASE 2: FASE DE LA NORMALIZACIÓN DEL MOVIMIENTO CONSCIENTE O FASE INTERMEDIA

Los *objetivos principales* de esta fase son: entrenar la estabilidad dinámica a través de la preparación de los componentes del sistema estabilizador global fundamentalmente; entrenar la propiocepción, los movimientos globales y la funcionalidad de los mismos. Para conseguirlo, se propone realizar ejercicios que afecten de una forma más directa a los *músculos estabilizadores globales*. Para ello se deben pedir movimientos de mayor amplitud, con retos propioceptivos y coordinativos de dificultad creciente. Siguen utilizándose cargas bajas o medias y la velocidad de ejecución del ejercicio va incrementándose poco a poco. Es muy importante que los movimientos tengan una aplicación o posible transferencia a las actividades cotidianas y/o laborales del paciente.

Para el entrenamiento de la musculatura de este sistema muscular se propone realizar contracciones lentas, de poca intensidad, siempre dentro del rango de movilidad en el que participa el músculo que se pretende reeducar y que es capaz de controlar. Se realizarán *lentamente 15-20 contracciones concéntricas*. También deben reeducarse excéntricamente. Para ello se propone realizar *10 contracciones, manteniendo cada una 10 segundos*, partiendo de la posición más acortada y solicitando la contracción excéntrica, en especial de los movimientos rotacionales (Comerford y Mottram, 2001a y b).

FASE 3: FASE DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MOVIMIENTO O FASE AVANZADA

Los *objetivos principales* de esta fase son: optimizar la reeducación motriz a través de la automatización de los patrones motores correctos; conseguir la máxima eficiencia en las actividades de la vida diaria y cotidiana del paciente y de la práctica deportiva.

Para alcanzar estas metas, los ejercicios demandados deben adquirir una mayor complejidad, velocidad, siendo los retos propioceptivos cada vez más desafiantes. Las amplitudes de los movimientos irán creciendo en amplitud y las cargas utilizadas irán de medias-moderadas a altas.

En esta fase el sistema muscular que adquiere un protagonismo mayor es el *sistema muscular movilizador*, aunque la activación previa del sistema estabilizador local y la participación armonizadora del estabilizador global son fundamentales para que los movimientos sean realmente eficaces y eficientes.

Debido a la gran tendencia que poseen los músculos movilizadores a desarrollar un acortamiento adaptativo y a ser sobreutilizados, habitualmente deben emplearse estrategias para

inhibirlos. Comerford y Mottram (2001a y b) lo denominan *reestabilización inhibitoria activa*. Para ello, el fisioterapeuta lleva pasiva y lentamente el segmento corporal distal hasta la barrera motriz y en esta posición se le solicita al paciente el mantenimiento activo de la posición fisiológica insistiendo en la recolocación del segmento óseo proximal u origen muscular. Se recomienda *mantener la posición-contracción durante 20-30 segundos, realizando tres-cinco repeticiones*.

Aunque con lo descrito anteriormente es posible hacerse una idea de la forma de trabajo con Pilates fisioterapéutico, nos parece interesante resaltar aquellos aspectos que suponen una modificación de la propuesta tradicional que han recogido organismos como el ACSM (1998, 2002) y que han guiado clásicamente la prescripción de ejercicio terapéutico y la elaboración de planes de ejercicio físico para la salud. Por ello, las características del ejercicio físico que propone el Pilates fisioterapéutico son las siguientes:

Frecuencia del ejercicio

No hay acuerdo entre los autores sobre cuál es la frecuencia óptima para las sesiones de Pilates fisioterapéutico, la mayoría de los estudios utilizan una frecuencia comprendida entre *2 días a la semana* (Siqueira, 2010; Critchley, 2011; García, 2011) y *tres sesiones semanales* (Altan, 2009, 2011). En cualquier caso se le pide al paciente que practique otro tipo de ejercicio/deporte en el que predomine el entrenamiento de la resistencia cardiovascular, que es la capacidad física en la que menos incide el Pilates. Y, por otro lado, se le insiste y educa para que las correcciones posturales y del movimiento que se van consiguiendo durante las sesiones vayan incorporándose a la vida cotidiana de forma inmediata, con el objetivo de que se haga consciente de sus patrones alterados y cómo tiende a reproducirlos constantemente en sus actividades de la vida diaria. Su identificación y corrección repetida a lo largo del día favorece la automatización de los nuevos patrones posturales y de movimiento adquiridos.

Intensidad del ejercicio

En las sesiones de Pilates, los ejercicios suelen repetirse entre ocho y 10 veces, de forma general. No obstante, si se quiere incidir en la activación y trabajo de un músculo o grupo muscular concreto, se procede según lo descrito en cada fase del tratamiento en función del tipo de musculatura sobre la que se quiera incidir. De cualquier forma, siempre se impondrá la calidad del movimiento frente a la cantidad o número de repeticiones de un ejercicio.

Habitualmente se ha utilizado la medición de la frecuencia cardíaca para calcular la intensidad del ejercicio. Sin embargo, aunque en un programa de Pilates fisioterapéutico no es común este procedimiento, sería un aspecto que debería tenerse muy presente e incorporarlo en los programas de reeducación de la postura y el movimiento para pacientes con cardiopatías y/o diabetes.

Duración del ejercicio

Una sesión o clase de Pilates fisioterapéutico tiene una duración aproximada de 50-60 minutos, y este tiempo puede variar en función de las características concretas del paciente en cuestión. En una fase inicial, la sesión tiende a una duración menor, pudiéndose incorporar antes, durante o después alguna maniobra o terapia manual con objeto de que el paciente no termine con molestias o sobrecargas de la musculatura más utilizada y que no ceda con el estiramiento correspondiente (Cruz, 2009).

Modalidad del ejercicio

Para recomendar o prescribir una actividad física es importante tener presente los gustos de la persona en cuestión ya que la motivación es probablemente el factor más importante para que un programa de ejercicio tenga éxito. La actividad elegida debe gustar al usuario y despertar en

él el deseo de continuar practicándola durante toda la vida (ACSM, 1998). En este sentido, el Pilates está teniendo una aceptación muy alta por parte del usuario, lo que revierte en un incremento considerable del número de practicantes que encuentran en él una opción confortable de ejercicio físico saludable (Von Sterlin, 2006). En la actualidad está muy difundido entre la población de edad avanzada (Irez et al, 2011).

Progresión

La progresión del ejercicio debe ser individualizada en función de los requerimientos específicos de cada paciente. En el Pilates fisioterapéutico se incrementa la carga del ejercicio de diferentes formas: aumentando los rangos de movimiento, alargando los brazos de palanca, incorporando retos propioceptivos y coordinativos mayores, así como incrementando la velocidad de los ejercicios. También se pueden emplear pequeños aparatos o implementos con este objetivo, como pueden ser la banda elástica, el *magic circle*, el *aeroflow*, el *bosu*, la *fit ball* o cualquier superficie inestable (como la tabla de Freeman, por ejemplo). Si se está realizando el Pilates con máquinas (*reformer*, *cadillac*, *barril*, *wunda* o *combo chair*, etc.), la progresión se consigue incrementando la resistencia de los muelles empleados.

Una vez establecidas las fases en las que se divide un tratamiento de reeducación de la postura y el movimiento con Pilates fisioterapéutico, y vistas sus características diferenciadoras respecto a las propuestas genéricas del ACSM (2002) sobre el ejercicio terapéutico, vamos a profundizar en cuál va a ser la *estructura* de cada sesión.

Calentamiento

El programa de ejercicio debe iniciarse con actividades de baja intensidad que incrementen de forma progresiva la frecuencia cardíaca y respiratoria. Así se prepararán el corazón, los vasos sanguíneos, los pulmones y los músculos para el funcionamiento eficaz y seguro que se requiere en la siguiente fase (ACSM, 1998). *Un calentamiento aceptable puede durar entre 10 y 15 minutos.*

Parte principal

La parte central de la sesión de ejercicio físico dentro de un programa de reeducación de la postura y el movimiento está orientada hacia el trabajo de dos cualidades físicas fundamentalmente: la fuerza y resistencia muscular y la flexibilidad. Como ya sabemos, estas dos cualidades son las que predominantemente se trabajan en Pilates (Kloubec, 2004; Sekendiz, 2007). *La parte principal debe durar entre 40 y 45 minutos.*

Fuerza

Es una cualidad física fundamental y necesaria para la salud, la capacidad funcional y el mantenimiento de la calidad de vida (ACSM, 2002; Jiménez, 2010). Por esta razón, los ejercicios de fuerza cada vez están tomando mayor protagonismo en los programas de acondicionamiento físico orientados hacia la consecución de objetivos saludables. El ACSM (1998) hizo una recomendación general para el entrenamiento de la fuerza que consistía en realizar una serie de 8-12 repeticiones, en 8-10 ejercicios, incluyendo al menos un ejercicio para cada uno de los principales grupos musculares. En 2002, el mismo organismo diferenció el trabajo en función de los distintos practicantes y realizó puntualizaciones acerca de las distintas formas de realizar la progresión en el trabajo de la fuerza muscular (ACSM, 2002). Esta propuesta ha sido recogida recientemente por Jiménez (2010).

Según estos trabajos, para desarrollar la fuerza muscular con objetivos saludables clásicamente se ha recomendado que el trabajo debe iniciarse por la activación de los grupos musculares grandes, para seguir por los pequeños; debe componerse, en un primer momento, de ejercicios poliarticulares para seguir con los monoarticulares; deben desarrollarse tanto

contracciones concéntricas como excéntricas, y empezar por ejercicios de intensidad elevada para proseguir con los de intensidad moderada. Sin embargo, si incorporamos el entrenamiento de la estabilidad articular y vertebral en el proceso de acondicionamiento físico, así como en la reeducación de la postura y del movimiento, la progresión de los ejercicios es diferente, puesto que adquieren un mayor protagonismo la reeducación y el trabajo de la musculatura más profunda y estabilizadora (Comerford y Mottram, 2001a y b). Desde esta perspectiva, que incorpora el Pilates fisioterapéutico, se parte del entrenamiento de la activación de los músculos más profundos, mayoritariamente monoarticulares, para proseguir con los más superficiales y poliarticulares; se inicia con movimientos de escasa amplitud articular para progresar ampliando el rango de movimiento y los brazos de palanca. Es decir, primero se estabilizan las articulaciones y se activa la propiocepción profunda y posteriormente se movilizan los segmentos estabilizados.

La *frecuencia del entrenamiento* de la fuerza depende del practicante. En principiantes o en aquellas personas con un nivel intermedio debe ser de 2-3 días a la semana (ACSM, 2002; Jiménez, 2010). Esto supone el trabajo de distintos grupos musculares cada día de entrenamiento, en el caso de que la frecuencia de éste sea de 5 días semanales. Sin embargo, en sujetos más avanzados se recomienda una frecuencia mayor, que oscila entre los 4 y los 5 días a la semana (ACSM, 2002; Jiménez, 2010). A un paciente con alteraciones posturales y/o motrices se le recomienda que realice los ejercicios prescritos en régimen domiciliario e incorpore la corrección postural en los quehaceres diarios, vida laboral, ocio, etc., con el objetivo de ir automatizando el nuevo y más fisiológico patrón postural y de movimiento que se va adquiriendo conforme avanza el tratamiento.

El ACSM (2002) recomienda que en un primer momento se entrene la *fuerza resistencia* o *resistencia muscular*, es decir, la capacidad de la musculatura para realizar un ejercicio repetitivo a baja intensidad durante un período prolongado de tiempo (Kisner y Allen, 2005). Con este objetivo, el ACSM (2002) propone usar cargas en torno al 40-60% de 1 RM, con un mínimo de 15 repeticiones y cortos períodos de recuperación (siempre inferiores a los 90 s). En un programa de reeducación de la postura y el movimiento con Pilates fisioterapéutico, el número de repeticiones vendrán determinadas por la calidad del movimiento. Es decir, nunca se seguirá con el ejercicio si aparecen grandes compensaciones en segmentos adyacentes o distales a los que se están trabajando y/o si la contracción cursa con temblor o dolor.

Posteriormente, se entrenará la *fuerza muscular* propiamente dicha, para lo cual se propone que los *principiantes* realicen entre ocho y 12 repeticiones, lo que significa trabajar a 8-12 RM. En individuos de *nivel intermedio o avanzado*, se propone trabajar entre 1 y 12 RM de forma progresiva, realizando énfasis eventuales con cargas superiores (1-6 RM). La velocidad del ejercicio debe oscilar en torno a 1-2 segundos en la fase concéntrica y 1-2 segundos en la fase excéntrica. El período de descanso interserie recomendado es de un mínimo de 3 minutos (ACSM, 2002; Jiménez, 2010). Se recomienda que la carga de trabajo se incremente cuando, estando entrenando con una determinada RM, el sujeto pueda realizar una o dos repeticiones por encima. En este momento se estima que el incremento óptimo es del 2-10% de la carga. En un programa de Pilates fisioterapéutico este aumento de la carga de trabajo se realiza al ampliar los brazos de palanca del movimiento en cuestión, modificar la mecánica respiratoria asociada con el ejercicio, incorporar retos propioceptivos de mayor complejidad (*foam roller, aeroflow, fit ball, foam balls*, etc.) o emplear resistencias externas proporcionadas por implementos como la banda elástica, el *magic circle*, muelles de mayor resistencia, etc.

Para el entrenamiento de la *potencia muscular* o, lo que es igual, la velocidad de ejecución de un movimiento (fuerza-velocidad), se proponen dos estrategias (ACSM, 2002; Jiménez, 2010). Se puede desarrollar desde el trabajo de la fuerza, como ya se ha descrito, o mediante el uso de cargas ligeras (entre el 30-60% de 1 RM), con una velocidad de contracción alta y descansos interseries de 2 a 3 minutos. Se recomiendan ejercicios poliarticulares y adquieren especial importancia los que engloban todo el cuerpo. En un programa de Pilates fisioterapéutico, el

trabajo de la potencia muscular forma parte fundamentalmente del entrenamiento del sistema movilizador (fase de automatización del movimiento).

Flexibilidad

La flexibilidad es la capacidad de una articulación para moverse de forma fluida en toda su amplitud de movimiento (Jiménez, 2010). Su pérdida dificulta la eficiencia de las actividades diarias y aminora el rendimiento musculoesquelético y deportivo (ACSM, 1998). El ACSM la consideró por primera vez como parte esencial del acondicionamiento físico en 1998 debido a la creciente evidencia de sus múltiples beneficios. Entre ellos destacan el incremento de la amplitud de movimiento articular (*range of motion* = ROM), de la funcionalidad del mismo, el aumento del rendimiento muscular y su relación con la prevención y el tratamiento de muy diferentes lesiones musculoesqueléticas (ACSM, 1998).

El modo de entrenamiento de esta cualidad física se lleva a cabo a través de los estiramientos. Existen diferentes tipos y muy distintas clasificaciones en función del criterio que se siga (Kisner y Allen 2005). Sin embargo, los que resalta el ACSM (1998) son el estiramiento estático, la facilitación neuromuscular propioceptiva (*Proprioceptive Neuromuscular Facilitation* o PNF) y el estiramiento balístico. Si se utiliza el *estiramiento estático*, el ACSM (1998) propone mantener la posición de máximo estiramiento, sin producir dolor o *incomodidad*, durante 10-30 segundos. Para cualquiera de las modificaciones del PNF (contracción/relajación, mantenimiento/relajación o estiramiento activo asistido) se recomienda el mantenimiento de la contracción durante 6 segundos y en la posición de máximo estiramiento posterior durante 10-30 segundos. En cuanto al *estiramiento balístico*, aunque se ha demostrado su eficacia en el incremento de la amplitud articular, se considera poco seguro por el escaso control que el practicante posee sobre la dirección, velocidad e intensidad de los movimientos (Kisner y Allen, 2005). Además, estos estiramientos pueden aumentar la tensión de los músculos que se pretenden elongar como consecuencia del desencadenamiento del reflejo miotático y, por otro lado, se incrementa el riesgo de desgarro de los tejidos blandos solicitados, ya que reciben mayores microtraumatismos que en los demás tipos de estiramientos (Kisner y Allen, 2005). Por estos motivos, no consideramos oportuno recomendar el estiramiento balístico dentro de un programa de ejercicio físico saludable.

Para realizar correctamente los estiramientos que componen en programa de entrenamiento de la flexibilidad es necesario realizar un calentamiento adecuado que aumente la temperatura corporal y movilice y prepare al componente musculoesquelético y fascial para el estiramiento posterior (ACSM, 1998; ACSM, 2000; Kisner y Allen 2005; Jiménez, 2010).

Independientemente del procedimiento utilizado, se recomienda que los ejercicios estén diseñados para estirar los principales grupos musculares y realizar cuatro repeticiones por cada grupo muscular. En individuos sedentarios y sin práctica previa de ejercicio físico son más recomendables los estiramientos estáticos. Para aquellos sujetos más experimentados también está indicada cualquier modalidad de PNF, y es imprescindible la presencia de profesionales experimentados en la técnica de realización (ACSM, 1998; Jiménez, 2010). En el Pilates fisioterapéutico, todos los ejercicios se ejecutan con un componente de estiramiento global con el fin de evitar las compensaciones que los grandes músculos acortados pueden provocar al ejecutar el movimiento. Para evitar que se disipen las fuerzas ante un estiramiento es necesario que los músculos se elonguen en todas las articulaciones que atraviesan. Esto es lo que se conoce como «oposición» entre origen e inserción.

Sin embargo, y dentro de este mismo concepto, existen ejercicios propios de estiramiento en los que se incrementa el mismo en la fase de espiración. En los pacientes que se encuentran en una fase inicial se hacen estiramientos más estáticos y a medida que la flexibilidad y acondicionamiento físico mejoran, los estiramientos se vuelven más dinámicos.

La *frecuencia* mínima estipulada por el ACSM (1998) es de 2 a 3 días a la semana, pero se considera que lo ideal es practicarlos entre 5 y 7 días semanales. Por este motivo, a los pacientes que se integran en un programa de reeducación de la postura y el movimiento se les recomiendan estiramientos diarios en régimen domiciliario de aquellos grupos musculares, sobre todo pertenecientes al sistema movilizador, que presentan un mayor acortamiento.

Vuelta a la calma

Todos los programas de ejercicio deben concluir con un período de enfriamiento o vuelta a la calma. En un programa de ejercicio saludable se propone que el mejor modo de conseguirlo es reduciendo lentamente la intensidad de los ejercicios durante los últimos minutos de la parte principal (ACSM, 1998). Y, tras este período de enfriamiento, deben realizarse ejercicios de estiramiento para facilitar una mayor flexibilidad y recuperación muscular postejercicio.

Sin embargo, en una sesión de Pilates fisioterapéutico no sólo se practican estiramientos al final, sino que se realizan después de haber solicitado de forma reiterada un determinado grupo muscular. De este modo se evitan las sobrecargas y molestias asociadas con la práctica del Pilates de una forma indiscriminada e irresponsable. *La vuelta a la calma debe durar entre 10 y 15 minutos.*

Una vez descritas las líneas procedimentales básicas que estructuran cada fase del tratamiento de los pacientes con alteraciones posturales, no puede olvidarse incorporar en este esquema un elemento imprescindible tanto en el Pilates tradicional como en el Pilates fisioterapéutico: la respiración. El patrón respiratorio más utilizado es la *respiración posterolateral en 3D*, es decir, aquella en la cual la expansión que provoca el aire inspirado se centra en la porción media e inferior de la parrilla costal seguido de una espiración en la que se contraen los músculos pertenecientes al *Powerhouse* o *Core* (Cruz et al, 2010), que ya describimos anteriormente.

Al programar una sesión de Pilates fisioterapéutico siempre ha de tenerse en cuenta la respiración que, como ya se ha comentado, será el elemento vertebrador de los ejercicios, aquel que proporciona el ritmo de éstos y, por tanto, el de la sesión. De este modo, la respiración se convierte en un componente indispensable del método que forma parte del ejercicio. Es decir, cada uno de los movimientos en los que pueden dividirse todos los ejercicios va acompañado de una determinada fase respiratoria, y deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- La inspiración facilita la extensión de la columna y la espiración favorece la flexión.
- El trabajo muscular realizado con palancas largas aumenta la tendencia extensora en la columna.
- En la fases iniciales del tratamiento la respiración se utilizará como elemento facilitador de los ejercicios y posibilitará la corrección de la postura. En todo momento se buscará favorecer el movimiento de las extremidades manteniendo las curvaturas raquídeas en zona neutra.
- En la fase avanzada del tratamiento, la respiración se empleará como elemento desafiante, el cual hay que vencer sin que se traduzca en la pérdida de las curvas raquídeas neutras.

Vamos a describir un ejemplo que clarifique el empleo de la respiración en función del patrón postural y la fase del tratamiento en la que se encuentre el paciente.

Ejemplo: paciente con hiperlordosis lumbar que va a realizar el ejercicio *Snail*.

En este ejercicio el paciente comienza en decúbito supino, con curvas raquídeas neutras, miembros superiores paralelos a ambos lados de los flancos del tronco y miembros inferiores paralelos, separados al ancho de las caderas, con caderas y rodillas semiflexionadas y pies apoyados en la colchoneta (fig. 11.3).

El movimiento global que se realiza es la flexión de los hombros máxima que pueda realizarse sin que las curvas raquídeas se alteren, manteniendo los codos extendidos y las muñecas alineadas. Una vez alcanzado el máximo rango de movimiento, se vuelve a la posición de partida.

Si en el ejemplo tenemos un *paciente con una hiperlordosis lumbar en una fase inicial o de concienciación propioceptiva*, al realizar este movimiento, la hiperlordosis tenderá a aumentar. Para evitar este movimiento compensatorio y facilitar la ejecución correcta del ejercicio, usaremos un determinado ritmo respiratorio que detallamos a continuación. El ejercicio se realizaría, por tanto, del siguiente modo (fig. 11.4):

FIGURA 11.3 Posición inicial del *Snail*.



El paciente se encuentra en la posición inicial y, mientras inspira (INS), realiza una flexión de hombros de 90° (fig. 11.4a). Durante la fase de espiración (ESP), aumentará la flexión de los hombros sin que los codos y las muñecas se flexionen o hiperextiendan (fig. 11.4b). La amplitud del movimiento vendrá determinada por la capacidad del *Powerhouse* de mantener las curvas raquídeas sin movimiento alguno. En la siguiente INS ambos miembros superiores vuelven a los 90° de flexión (fig. 11.4c) y durante la ESP se regresa a la posición de partida (fig. 11.4d).

Para ayudar al paciente a reconocer en qué momento pierde la estabilidad lumbopélvica se propone la utilización del *biofeedback* de presión en la región lumbar, con una presión de 40 mmHg, que no debe modificarse a lo largo del ejercicio.

Sin embargo, si este mismo paciente se encuentra en la *fase avanzada del tratamiento o de optimización del movimiento*, en el *Snail* la mecánica respiratoria usada variará. Dejará de ser un elemento facilitador para pasar a dificultar la ejecución del ejercicio y la estabilidad lumbopélvica, de manera que el ejercicio resultante sería el que se expone en la figura 11.5:

El paciente parte de la posición inicial explicada anteriormente y durante la INS realiza una flexión de hombros completa, tanto como sea capaz de controlar su *Powerhouse* (en un paciente que se encuentra en una fase avanzada no deben existir grandes acortamientos musculares, con lo que los movimientos serán amplios) (fig. 11.5a). Durante la fase de ESP, ambos miembros superiores regresan a la posición de partida (fig. 11.5b). De este modo, el ejercicio resultante es más

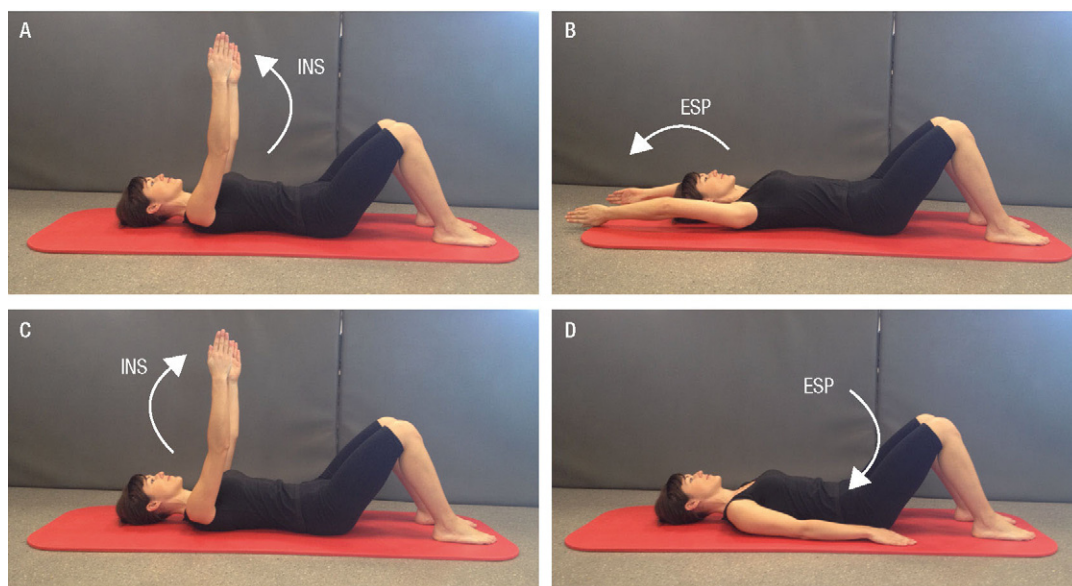


FIGURA 11.4 Ejercicio con el ritmo respiratorio detallado en fase inicial.

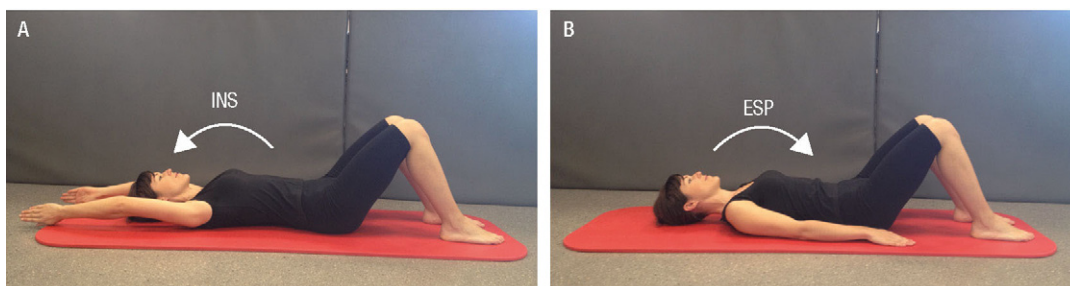


FIGURA 11.5 Ejercicio con ritmo respiratorio detallado en fase avanzada.

dinámico que el primero que describimos y, a pesar de ser el mismo movimiento, los requerimientos solicitados a la musculatura varían sustancialmente, así como las sensaciones (aferencias y eferencias) que se derivan del mismo.

Estas premisas serán conjugadas y aplicadas en cada ejercicio que compone la sesión con el único objetivo de responder a las necesidades específicas de cada paciente. De este modo, será el ejercicio el que se adapte a quien lo está ejecutando y no al contrario. Para poder realizar estos ajustes tan precisos es imprescindible que sea un profesional del movimiento quien esté a cargo de la sesión.

Bibliografía

- Abadal T. La evolución de los programas de ejercicio físico en el ámbito de la salud. En: Serra R (ed.). Prescripción de ejercicio físico para la salud. Barcelona: Paidotribo; 2004. p. 9-26.
- Altan L, Korkmaz N, Bingol Ü, Gunay B. Effect of Pilates training on people with fibromyalgia syndrome: A pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 2009;90:1983-8.
- Altan L, Korkmaz N, Dizdar M, Yurtkuran M. Effect of Pilates training on people with ankylosing spondylitis. *Rheumatol Int* 2011;17. En prensa.
- American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:975-91.
- American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescripción. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
- American College of Sports Medicine. Progression models in resistance training for healthy adults. Position Stand. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(2):364-80.
- Aznar S, Webster T. Pasado, presente y futuro. En: López J, López JM (eds.). Fisiología Clínica del Ejercicio. (1.ª ed.). Madrid: Médica Paramericana; 2008. p. 35-43.
- Benítez-Lugo ML. Verticalidad y percepción somatosensorial como elementos de reeducación postural en el Pilates Fisioterapéutico. Ponencia presentada en el I Congreso Internacional de Pilates Fisioterapéutico. Sevilla: noviembre; 2011.
- Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand* 1989;230(60):20-4.
- Brown SE, Clippinger K. Rehabilitation of anterior cruciate ligament insufficiency in a dancer using the clinical reformer and a balanced body exercise method. *Work* 1996;7(2):109-14.
- Busquet L. Las cadenas musculares. Miembros inferiores (5.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2001.
- Busquet L. Las cadenas musculares. La pubalgia (5.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2002.
- Busquet L. Las cadenas musculares. Lordosis, cifosis, escoliosis y deformaciones torácicas (7.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2003.
- Busquet L. Las cadenas musculares. Tronco, columna cervical (8.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2004.
- Cairns MC, Harrison K, Wright C. Pressure biofeedback: A useful tool in the quantification of abdominal muscular dysfunction? *Physiotherapy* 2000;86(3):127-38.
- Campignon P. Cadenas musculares y articulares, método G.D.S. Respiraciones (1.ª ed.). Alicante: Lencina-Verdú; 2000.
- Campignon P. Cadenas musculares y articulares, método G.D.S. Aspectos biomecánicos (1.ª ed.). Alicante: Lencina-Verdú; 2002.
- Caufriez M. Gymnastique Abdominale Hypopressive. Bruxelles: M. Caufriez; 1997.
- Comerford MJ, Mottram SL. Functional stability re-training: principles and strategies for managing mechanical dysfunction. *Man Ther* 2001;6(1):3-14.
- Comerford MJ, Mottram SL. Movement and stability dysfunction-contemporary developments. *Man Ther* 2001;6(1):15-26.

- Critchley DJ, Pierson Z, Battersby G. Effect of Pilates mat exercises and conventional exercise programmes on transversus abdominis and obliquus internus abdominis activity: Pilot randomised trial. *Man Ther* 2011;16:183-9.
- Cruz S. Pilates en la conducta fisioterapéutica: terapia manual. Libro de actas de la XIII Xornada Galega de Fisioterapia. Terapias manuales: Metodologías en terapia manual, articulación craneomandibular y Clínica. Vigo 2009;.
- Cruz S, Carrasco M, Jiménez B, Hidalgo M. Pilates Fisioterapéutico (Nivel I). Suelo y pequeños aparatos: cajones, fit-ball, banda elástica y magic-circle. Sevilla: IACES-Ilustre Colegio Profesional de Fisioterapeutas de Andalucía; 2011.
- De la Peña. The origins of Cybex Space. Cabinet 2008; Issue 29, sloth spring.
- DeLorme T, Watkins AL. Restoration of power by heavy-resistance exercises. *J Bone Joint Surg* 1945;27:645-67.
- Denys-Struyf G. El Manual del mezierista. Tomo 1 (3.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2004.
- Emery K, De Serres SJ, McMillan A, Côté JN. The effects of a Pilates training program on arm-trunk posture and movement. *Clin Biomech* 2010;25:124-30.
- Escuela Europea de Pilates Fisioterapéutico (EFIS-Pilates). En: <http://efispilates.com/>
- Gagey PM, Weber B. Posturología: Regulación y alteraciones de la bipedestación (1.ª ed.). Barcelona: Masson; 2001.
- Garatachea N. Evaluación de la capacidad física: selección y administración de protocolos. En: Márquez S, Garatachea N (eds.). *Actividad física y Salud*. (1.ª ed.). Madrid: Díaz de Santos; 2010. p. 267-78.
- García T, Aznar S. Práctica del método Pilates: cambios en composición corporal y flexibilidad en adultos sanos. *Apunts Med Esport* 2011;46(169):17-22.
- González JJ, Gorostiaga E. Fundamentos del entrenamiento de la fuerza (3.ª ed.). Barcelona: INDE; 2002.
- Herrington L, Davies R. The influence of Pilates training on the ability to contract the transversus abdominis muscle in asymptomatic individuals. *J Bodywork Mov Ther* 2005;9:52-7.
- Hidalgo M. Influencia del Pilates Fisioterapéutico en la contracción del suelo pélvico y su repercusión en el embarazo. Ponencia presentada en el I Congreso Internacional de Pilates Fisioterapéutico. Sevilla Noviembre 2010;.
- Hislop HJ, Montgomery J. Daniels & Worthingham técnicas de balance muscular (7ª ed.). Madrid: Elsevier; 2003.
- Isacowitz R. Pilates. Manual completo del Método Pilates (1.ª ed.). Badalona: Paidotribo; 2009.
- Janda V. Motor learning impairment and back pain. Zurich. FIMM Proceedings 1983.
- Janda V. Pain in the locomotor system: a broad approach. En: Glasgow, Aspects of manipulative, therapy. Melbourne: Churchill Livingstone; 1985. p. 148-51.
- Janda V. Evaluación del desequilibrio muscular. En: Liebenzon C (ed.). *Manual de Rehabilitación de la columna vertebral*. (1.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2003. p. 129-44.
- Jay L. Weight training. For strength and fitness. Boston: Sales and Customer Service Offices; 1992.
- Jiménez A. Recomendaciones básicas en la prescripción de actividad física orientada hacia la salud. En: Márquez S, Garatachea N (eds.). *Actividad física y salud*. Madrid: Díaz de Santos; 2010. p. 279-96.
- Johnson EG, Larsen A, Ozawa H, Wilson CA, Kennedy KL. The effects of a Pilates-based exercise on dynamic balance in healthy adults. *J Bodywork Mov Ther* 2007;11:238-42.
- Kisner C, Allen L. Ejercicio Terapéutico (1.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2005.
- Kloubec J, Banks AL. Pilates and Physical Education: a natural fit. *JOPERD* 2004;75(4):34-51.
- Latey P. The Pilates Method: hystory and philosophy. *J Bodywork Mov Ther* 2001;5(4):275-82.
- Liebenzon C. Protocolos de rehabilitación activa. En: Liebenzon C (ed.). *Manual de Rehabilitación de la columna vertebral*. (2.ª ed.). Barcelona: Paidotribo; 2002. p. 445-83.
- López J, Fernández A. Fisiología del ejercicio (3.ª ed.). Buenos Aires: Médica Panamericana; 2006.
- McLain S, Carter CL, Abel J. The effect of a conditioning and alignment program on the measurement of supine jump height and pelvic alignment when using the current concepts reformer. *J Dance Med* 1997;1(4):149-54.
- McMillan A, Proteau L, Lebe R. The effect of Pilates-based training on dancers' dynamic posture. *J Dance Med* 1998;2(3):101-6.
- Morris JN, Heady JA. Mortality in relation to the physical activity of work: a preliminary note on experience in middle age. *Br J Ind Med* 1953;10:245-54.
- Norris CM. La estabilidad de la espalda. Un enfoque diferente para prevenir y tratar el dolor de espalda. Barcelona: Hispano Europea; 2007.
- OMS. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation on obesity. Geneva: WHO; 1998. p. 98.
- Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I: function, dysfunction, adaptation and enhancement. *J Spinal Disord* 1992;5(4):383-9.
- Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II: neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord* 1992;5(4):390-7.
- Pilat A. Terapias miofasciales: inducción miofascial. Aspectos teóricos y aplicaciones clínicas (1.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2003.
- Pilates JH, Miller W. Return to the life through Contrology (1.ª publicación en 1945). Nevada: Dynamics Inc.; 1998.
- Pilates Method Alliance. PMA Position Statement: On Pilates. (2006). En: www.pilatesmethodalliance.org. Acceso: 12/03/09.
- Reyneke D. Pilates Moderno. A perfeita forma física ao seu alcance (1.ª ed.). Barueri (Brasil): Manole; 2009.
- Rhoades RA, Bell DR. Medical physiology: principles for clinical medicine (3.ª ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer-Lippincott Williams & Wilkins; 2009.
- Sahrmann SA. Diagnóstico y tratamiento de las alteraciones del movimiento (1.ª ed.). Badalona: Paidotribo; 2006.
- Sapsford R. The pelvic floor. A clinical model for function and rehabilitation. *Physiotherapy* 2001;87(12):620-30.

- Sekendiz B, Altun O, Korkusuz F, Akin S. Effect of Pilates exercise on trunk strength, endurance and flexibility in sedentary adults females. *J Bodywork Movement Ther* 2007;11:318-26.
- Siqueira Rodrigues BG, Ali Cader S, Bento Torres NV, Oliveira EM, Martin Dantes EH. Pilates Method in personal autonomy, static balance and quality of life of elderly females. *J Body W Mov Ther* 2010;14(2):195-202.
- Souchard PE. Reeducción postural global: método del campo cerrado, enfoque somatopsíquico (2.ª ed.). Bilbao: I.T.G; 1994.
- Souchard PE. RPG. Principios de la Reeducción postural Global (1.ª ed.). Badalona: Paidotribo; 2005.
- Vasilyeva LF, Lewit K. Diagnóstico de la disfunción muscular mediante inspección. En: Liebenson C (ed.). *Manual de Rehabilitación de la columna vertebral*. (1.ª ed.) Barcelona: Paidotribo; 2003. p. 145-75.
- Von Sperling M, Brum V. Who are the people looking for the Pilates method? *J Body W Mov Ther* 2006;10:328-34.

Prescripción del ejercicio físico terapéutico en pacientes cardiovasculares y diabéticos

Blanca de la Cruz Torres*, **Sara Cruz Sicilia****, **M.^a Dolores Sánchez López*****

* Doctora por la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. Profesora del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

** Profesora del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla

*** Doctora por la Universidad de Sevilla. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte del Centro Andaluz de Medicina del Deporte de Sevilla

257

CONTENIDO DE CAPÍTULO

Introducción 257

Principios y características básicas para el diseño de programas de ejercicio físico terapéutico 258

Calentamiento 260

Parte principal 260

Vuelta a la calma 261

Valoración funcional previa al ejercicio físico terapéutico 261

Historial médico del paciente 262

Datos antropométricos 262

Control glucémico 263

Examen cardiovascular 264

Prueba de esfuerzo o prueba ergométrica 265

Cualidades físicas 265

Prescripción de ejercicio físico terapéutico en pacientes con cardiopatía y/o diabetes 268

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ofrecen las bases para el diseño de programas de ejercicio físico preventivo y terapéutico aplicado a personas con patología cardiovascular y/o diabética por parte del fisioterapeuta. La prescripción de los programas de ejercicio físico se establece en función de protocolos de valoración y evaluación funcional que han de realizarse de forma previa al diseño y desarrollo de los programas de ejercicio físico.

Hoy día, el desarrollo tecnológico ha hecho olvidar al ser humano su condición biológica. Se está realizando un gran esfuerzo en la creación de máquinas que ayuden a la labor doméstica y

laboral del ser humano con el fin de conseguir mayores comodidades. Pero lo que realmente se está consiguiendo en los últimos años es un estilo de vida sedentario caracterizado por una reducción del esfuerzo físico y un aumento de actividades pasivas (Piéron, 1999; García, 2001).

Un estilo de vida sedentario se ha asociado con un mayor riesgo de aparición de dos trastornos metabólicos y endocrinos importantes: la obesidad y la diabetes. Aunque ninguna de estas dos enfermedades representa por sí misma una causa importante de muerte, ambas están fuertemente asociadas con otras enfermedades con altos índices de mortalidad, como son las patologías cardiovasculares (hipertensión y enfermedad de las arterias coronarias) (Wilmore, 2007).

Las enfermedades cardiovasculares suponen un problema de salud pública de primer orden. En todo el mundo, 16,7 millones de muertes se deben a estas enfermedades (Villar, 2003). Las principales enfermedades cardiovasculares son la hipertensión (comúnmente conocida como el «asesino silencioso») y las cardiopatías coronarias más comunes, como son la angina de pecho y el infarto agudo de miocardio.

Por otro lado, la diabetes mellitus (DM) constituye una de las patologías crónicas que más ha aumentado en los últimos años en las sociedades occidentales. En España, se considera que la prevalencia es del 5%, y la DM tipo 2 constituye, aproximadamente, un 90% de los casos.

La DM constituye un conjunto de patologías metabólicas caracterizadas por hiperglucemia, consecuencia de defectos en la secreción de insulina, en su acción o en ambas (American Diabetes Association [ADA], 2002). La mayoría de los casos de diabetes puede clasificarse en dos categorías principales: la diabetes mellitus dependiente de la insulina (DMDI), llamada también tipo 1 o diabetes de inicio juvenil y diabetes mellitus no dependiente de la insulina (DMNDI), denominada también tipo 2 o diabetes de inicio en la edad adulta.

La realización de ejercicio físico de forma regular conlleva una serie de beneficios, como la disminución del riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en general (en especial la mortalidad por cardiopatía isquémica), la reducción de los valores de presión arterial en los hipertensos (Duncan, 1985; Hagberg, 1990; Tripton, 1991) o la mejora del perfil lipídico (Haskell, 1986; León, 2001; Greene, 2012) en sangre, reduciendo principalmente los valores de triglicéridos.

Asimismo, la práctica de ejercicio físico disminuye el riesgo de presentar diabetes tipo 2, puesto que mejora la regulación de la glucemia (Koivisto, 1986; Ivy, 1987), incrementa la utilización de la grasa corporal y disminuye el peso del individuo (Word, 1991; Bouchard, 1993). Además, ayuda a mantener y mejorar la fuerza y la resistencia muscular, incrementando la capacidad funcional para realizar otras actividades de la vida diaria.

Es por todo ello por lo que el ejercicio físico se ha convertido en una herramienta terapéutica muy eficaz para el tratamiento de estas patologías y para mejorar la calidad de vida de estas personas.

PRINCIPIOS Y CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE EJERCICIO FÍSICO TERAPÉUTICO

Un buen programa de ejercicio físico terapéutico debe incluir, según el American College of Sports Medicine (ACSM, 1998), el entrenamiento de la capacidad aeróbica, la fuerza y resistencia musculares, así como la flexibilidad. Este organismo establece con claridad una serie de pautas concretas sobre las necesidades de actividad física para obtener beneficios en el estado de salud. En este sentido, aunque es muy importante individualizar la prescripción del ejercicio físico en función de las características personales del sujeto, de sus necesidades, objetivos planteados y habilidades iniciales, podemos sintetizar las recomendaciones de la prescripción de ejercicio físico orientado con fines saludables en diferentes aspectos:

1. **Frecuencia del ejercicio.** Los estudios de investigación muestran que una frecuencia de 3 a 5 días por semana es óptima. Esto no significa que una frecuencia mayor no proporcione unos beneficios adicionales, pero la ganancia no tiene un crecimiento proporcional al

tiempo y frecuencia invertidos. Los resultados óptimos se logran con una inversión de tiempo de 3 a 5 días por semana (ACMS, 1998), aunque varía en función de la calidad física que deba entrenarse, como veremos a continuación.

2. **Intensidad del ejercicio.** Puede cuantificarse de forma indirecta mediante la frecuencia cardíaca. Para ello, se puede estimar registrando la frecuencia cardíaca en función de la frecuencia cardíaca máxima teórica del sujeto (FCM). Esta FCM se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{FCM} = 220 - \text{edad del sujeto.}$$

También es frecuente establecer la intensidad del ejercicio usando la fórmula de Karvonen (1957):

Frecuencia cardíaca en ejercicio = frecuencia cardíaca en reposo + porcentaje de intensidad (frecuencia cardíaca máxima – frecuencia cardíaca en reposo)

3. **Duración del ejercicio físico.** La duración de la actividad física depende de la intensidad del ejercicio, por lo que la actividad de baja intensidad se efectúa durante un período de mayor duración que la actividad de alta intensidad. Un ejercicio de baja intensidad debe durar un mínimo de 30 minutos; éstos pueden contabilizarse de forma continua o intermitente, y los intervalos de actividad tienen un efecto acumulativo siempre que superen los 10 minutos de duración (ACSM, 1998). Por ello, recomendamos realizar ejercicio físico terapéutico con una duración comprendida entre 20 y 60 minutos.
4. **Modalidad del ejercicio.** Cualquier tipo de ejercicio que utilice grandes grupos musculares y que posibilite un ejercicio mantenido y continuado en el tiempo, aunque, tradicionalmente, las actividades indicadas con mayor frecuencia han sido caminar, jogging, correr, bicicleta, senderismo, actividades acuáticas, etc.; posteriormente se han incorporado el entrenamiento de la fuerza y la flexibilidad dentro de las recomendaciones de los programas de actividad física con objetivos saludables (ACSM, 1998) (fig. 12.1).



FIGURA 12.1 Modalidad deportiva ejemplar.

5. **Progresión.** Es importante señalar que el ritmo de asimilación de la carga de trabajo es muy variable entre la población general sedentaria y que además de la influencia de la variable edad y de la variable género, lo cierto es que cada individuo requiere un tiempo diferente para adaptarse a un determinado estímulo de entrenamiento. Por tanto, la progresión debe estar necesariamente individualizada y sujeta a tests de evaluación que permitan conocer el grado de acondicionamiento físico del sujeto.

Una vez establecidos estos factores, la *estructura* de un programa de ejercicio físico consta de tres apartados o fases: calentamiento, parte principal y vuelta a la calma.

CALENTAMIENTO

Como ya se ha explicado en el Capítulo 11, todo programa de ejercicio debe comenzar con actividades de baja intensidad que vayan preparando al sistema cardiorrespiratorio y al aparato locomotor de forma progresiva para las demandas que se les exigirá posteriormente (ACSM, 1998). *Recordamos que un calentamiento aceptable puede durar entre los 10 y los 15 minutos* (ACMS, 1998).

PARTE PRINCIPAL

Se trata de la parte central de la sesión de ejercicio físico y debe durar entre los 40 y los 45 minutos. En el Capítulo 11 veíamos que en un programa de reeducación de la postura y el movimiento, las cualidades físicas que se entrenaban en esta parte de la sesión eran la fuerza y la flexibilidad. Sin embargo, cuando se trata de la prevención o tratamiento de cardiopatías y/o diabetes, es fundamental incorporar también el entrenamiento de la capacidad aeróbica. Por tanto, se trabajarán las tres cualidades físicas: la capacidad aeróbica, la fuerza muscular y la flexibilidad, que analizaremos a continuación.

Capacidad aeróbica

Las actividades físicas que desarrollan la resistencia cardiovascular han sido clásicamente el núcleo de los programas de ejercicios orientados a la salud. Están diseñadas para mejorar la capacidad y eficacia de los sistemas cardiovascular, respiratorio y metabólico.

Las recomendaciones del ACSM (1998) para el desarrollo de la capacidad aeróbica en la población sedentaria en general se encuentran situadas en un trabajo que oscile entre el 55 y el 90% de la frecuencia cardíaca máxima. Como se trata de un margen muy amplio, el porcentaje exacto será calculado en función de las características específicas del paciente y su estado previo de salud. En nuestro caso, tratándose de pacientes cardiopatas y/o diabéticos, la intensidad del ejercicio físico debe estar comprendida entre el 60 y el 80% de la frecuencia cardíaca máxima; este ejercicio produce efectos muy positivos y limita los riesgos asociados con intensidades más elevadas. Debemos tener en cuenta que el ejercicio de alta intensidad se asocia con un riesgo cardiovascular mayor, así como con una mayor incidencia de lesiones musculoesqueléticas y un menor seguimiento del entrenamiento que intensidades menores (ACSM 1998; Jiménez, 2010).

En cuanto a la frecuencia de entrenamiento de la capacidad aeróbica, se ha comprobado que los valores óptimos se consiguen entre los 3 y 5 días de entrenamiento a la semana, ya que los beneficios cuando la frecuencia es mayor de 5 días no aumentan significativamente y entrenar menos de 2 días a la semana no origina cambios significativos (ACSM, 1998).

Es posible que la dosis genérica recomendada para un determinado individuo sedentario resulte inapropiada por su condición musculoesquelética. En estos casos, Jiménez (2010) propone diseñar un *mesociclo de adaptación musculoesquelética*, es decir, un período en el que se desarrolla un programa específico de aprendizaje de la técnica de ejecución de los ejercicios en los que se basará el programa al que el sujeto será sometido posteriormente. De este modo se evitará la aparición de lesiones por sobreuso derivadas de una situación muy deficitaria del sistema musculoesquelético, así como de la práctica de los ejercicios con poca estabilidad, control y conciencia corporal.

Fuerza

La progresión del entrenamiento de la fuerza que propone el ACSM (ACSM, 1998 y 2002) puede consultarse en el Capítulo 11. De todos modos, podemos resumir sus recomendaciones en:

- Para entrenar la fuerza se debe realizar una serie de 8-12 repeticiones, en 8-10 ejercicios que incluyan los grandes grupos musculares del cuerpo.
- En cuanto a la frecuencia del entrenamiento de la fuerza, se recomienda que las personas que están empezando con una disciplina de ejercicio físico o tienen un nivel intermedio trabajen la fuerza 2-3 días a la semana. Sin embargo, en personas entrenadas, la frecuencia recomendada es de 4-5 días a la semana (ACSM, 2002; Jiménez, 2010).
- En esta población (personas con cardiopatía y/o diabetes) se recomienda entrenar la *fuerza resistencia o resistencia muscular*, fundamentalmente. Para ello se deben movilizar cargas que se encuentren entre el 40 y el 60% del 1 RM, realizar 15 repeticiones como mínimo y con períodos de descanso menores de 90 segundos (ACSM, 2002).

Flexibilidad

Como también se apunta en el Capítulo 11, no siempre se ha considerado esencial el entrenamiento de la flexibilidad. El ACSM la incorporó en sus *statements* en 1998, como elemento fundamental para prevenir las lesiones en la práctica deportiva e incrementar el rendimiento muscular. De las recomendaciones de este organismo (ACSM, 1998) podemos extraer que:

- Es necesario realizar un calentamiento previo a los estiramientos para que los músculos, tendones y demás tejido fascial se encuentren más vascularizados, con mayor temperatura y, por tanto, más preparados para ser sometidos a un estiramiento.
- En personas principiantes que no han realizado ejercicio físico previamente, se recomiendan los estiramientos estáticos.
- Los sujetos más experimentados también pueden hacer uso de cualquier modalidad de facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF).
- Se deben estirar los principales grupos musculares y realizar cuatro repeticiones de cada grupo muscular.
- Aunque se recomienda realizar estiramientos con una frecuencia mínima de 2-3 días a la semana, lo ideal es hacerlo entre 5 y 7 días a la semana (fig. 12.2).

VUELTA A LA CALMA

Antes de terminar la sesión de ejercicio físico terapéutico se debe disminuir la intensidad de los ejercicios, estableciéndose un período de enfriamiento (ACSM, 1998). Tras él se recomienda realizar ejercicios de estiramientos de los grupos musculares más demandados durante la parte principal. De este modo se contribuirá a la recuperación de la musculatura después del ejercicio. La vuelta a la calma debe durar entre 10 y 15 minutos.

Sin embargo, todo diseño de programa de ejercicio físico terapéutico necesita de una valoración funcional previa muy exhaustiva, que pasaremos a describir. En la tabla 12.1 se expone un modelo de diseño de programa de ejercicio físico terapéutico.

VALORACIÓN FUNCIONAL PREVIA AL EJERCICIO FÍSICO TERAPÉUTICO

La evaluación del estado de salud previo a la realización de cualquier programa de ejercicio físico terapéutico es necesaria por *tres motivos*: establecer el nivel de partida, adecuar el programa a las necesidades de la persona y prevenir posibles consecuencias negativas. Por ello, la valoración funcional que debe realizarse debe incluir los siguientes apartados:



FIGURA 12.2 Estiramiento del músculo cuádriceps.

TABLA 12.1 Diseño de programas de ejercicio físico terapéutico

Factores a tener en cuenta	Frecuencia	
	Intensidad	
	Duración	
	Modalidad	
	Progresión	
Estructura	Calentamiento 10-15'	
	Parte principal 40-45'	Capacidad aeróbica
		Fuerza resistencia
		Flexibilidad
	Vuelta a la calma 10-15'	

HISTORIAL MÉDICO DEL PACIENTE

Debe incluir el diagnóstico médico actual, los antecedentes familiares y personales, hábitos alimenticios (consumo de tabaco, alcohol, cafeína, dieta rica en grasa), nivel de actividad física diaria, etc.

DATOS ANTROPOMÉTRICOS

Entre los datos antropométricos destacan *altura*, *peso*, *talla* y *composición corporal*. El estudio de la composición corporal es muy importante, tanto que Garatachea (2010) la considera uno

TABLA 12.2 Clasificación del sobrepeso y la obesidad (SEEDO, 2000)

CLASIFICACIÓN	IMC (kg/m ²)	RIESGO DE SALUD ASOCIADOS
Peso bajo	< 18,5	Bajo (pero riesgo a otros problemas clínicos asociados)
Normal	18,5-24,9	
Sobrepeso		
Pre-obesidad	25 o más	
Severa grado I	25-29,9	Incrementando
Severa grado II	30-34,9	Moderadamente incrementando
Severa grado III	35-39,9	Severamente incrementando
Mórbida	40 o más	Muy severamente incrementando

IMC: índice de masa corporal.

de los componentes principales de la capacidad física en relación con la salud. En concreto, el análisis del componente graso resulta muy valioso, ya que tiene aplicabilidad para el conocimiento de las alteraciones endocrinas y nutricionales, de las adaptaciones al ejercicio físico, del nivel de sedentarismo, del desarrollo del individuo o de la composición corporal de los sujetos (Gettman, 2010).

Uno de los métodos de estudio de la composición corporal es mediante el empleo del *índice de masa corporal o índice de Quételet (IMC)* que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IMC} = \text{peso (kg)} / \text{talla}^2 \text{ (m)}$$

La Sociedad Española para el Estudio de la Obesidad (SEEDO) (2000) propone una clasificación del sobrepeso y de la obesidad (tabla 12.2).

También tiene interés conocer el patrón de distribución de la grasa corporal por su relación con el riesgo cardiovascular. Con esta finalidad se utiliza el *índice cintura-cadera*, aceptado como buen indicador de la obesidad central (Gettman, 2010). Los niveles subcutáneos de grasa corporal en la parte superior del cuerpo (representada por la medida de la cintura) y la parte inferior del cuerpo (representada por la medida de la cadera) se distribuyen de forma diferente dependiendo del género, la edad, el tipo corporal y los niveles de actividad.

La circunferencia de la cintura se mide en el plano horizontal en la porción más estrecha del torso (por regla general entre 2,5 y 5 cm por encima del ombligo). La circunferencia de la cadera se mide en el plano horizontal al nivel de las proyecciones de los trocánteres mayores, que suelen coincidir con la mayor protrusión de los músculos glúteos. Si no coinciden, hay que medir la mayor circunferencia en torno a los glúteos como medición de la cadera (Gettman, 2010).

La relación medida de cintura-cadera para las mujeres de edades entre 17 y 39 años es 0,80. La relación se incrementa con la edad hasta superar 0,90. La relación medida de cintura-cadera para los hombres de edades entre 17 y 39 años es 0,90. Esta proporción aumenta con la edad hasta superar 0,98. Se recomienda que la relación cintura-cadera esté por debajo de 1,00 tanto en los hombres como en las mujeres (Gettman, 2010).

CONTROL GLUCÉMICO

Debemos conocer el grado de diabetes que el paciente tiene y conocer el tipo de tratamiento (insulínico o medicación), así como educar y enseñar al individuo a controlar su glucemia en la medida de lo posible. El paciente debe saber que su índice glucémico y la acción de la insulina van a variar con el ejercicio físico.

Los pacientes diabéticos suelen tener un autocontrol de la glucemia capilar. Para ello, utilizan unas *tiras de autoanálisis* que permiten realizar de forma sencilla y fiable la determinación de glucemia en una gota de sangre, habitualmente capilar. Son soportes plásticos de distintos tamaños que contienen los reactivos necesarios fijados en una zona especial de la tira, que en contacto con la muestra de sangre producen una reacción que permite determinar químicamente la cantidad de glucosa en sangre. Las tiras deben utilizarse de forma conjunta con otros utensilios como son los dispositivos de punción de un solo uso y aparatos medidores.

Es importante seguir exhaustivamente la técnica de obtención de la muestra para que la fiabilidad de los resultados sea alta. Los pasos que deben seguirse son:

1. Lavar y secar bien la zona de punción.
2. Preparar el medidor y colocar la tira reactiva.
3. Estimular el flujo sanguíneo haciendo un masaje en la zona de punción (frecuentemente, el pulpejo del dedo de la mano).
4. Pinchar con una lanceta o micro aguja en la zona lateral del pulpejo del dedo.
5. Apretar suavemente hasta que salga sangre.
6. Depositar la sangre suficiente para recubrir totalmente el reactivo.
7. Esperar hasta que el medidor indique el resultado.
8. Anotar siempre el resultado en la libreta de autoanálisis.

De la misma manera, también es muy importante realizar un examen neurológico, para la determinación de posibles alteraciones en la sensibilidad en los pies y un examen oftalmológico para detectar posibles retinopatías (Del Águila, 2008).

EXAMEN CARDIOVASCULAR

Debe incluir un electrocardiograma en reposo y la determinación de la frecuencia cardíaca y de la presión arterial de reposo previa al ejercicio.

La frecuencia cardíaca debe medirse durante 60 segundos. Si ésta se cuenta durante un intervalo inferior se introduce un error de medición en reposo, que luego se traslada al programa de ejercicio (Gettman, 2010).

Para la medición de la presión arterial, la técnica más utilizada es la esfigmomanometría. Para el profesional es importante conocer la clasificación de la hipertensión de la OMS (2003) (tabla 12.3).

Variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC)

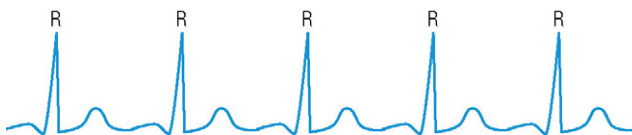
La VFC es un parámetro que cada vez está tomando mayor protagonismo en el ámbito de la salud y en el deporte. Se define como la variación que ocurre en el intervalo de tiempo, entre

TABLA 12.3 Clasificación de los valores de presión arterial según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003) (incluida en la *position stand* del ACSM, 2004)

Categoría	Presión arterial sistólica (mmHg)	Presión arterial diastólica (mmHg)
Óptima	< 120	< 80
Normal	120-129	80-84
Normal alta	130-139	85-89
HTA 1	140-159	90-99
HTA 2	160-179	100-109
HTA 3	≥ 180	≥ 110

ACSM: American College of Sports Medicine; HTA: hipertensión arterial.

FIGURA 12.3 Serie de intervalos RR de una señal electromiográfica.



dos latidos cardíacos consecutivos. Su protagonismo se debe a la posibilidad que tiene el parámetro de la VFC de aportar información sobre el estado de salud general del sistema cardiovascular (Goldberger, 1990). Se ha utilizado tanto para el diagnóstico como para el pronóstico de diversas afecciones cardíacas, pero creemos que también puede ser interesante como factor de prevención (fig. 12.3).

La VFC es el resultado de las interacciones ente el sistema nervioso autónomo (SNA) y el aparato cardiovascular, de manera que el análisis de la VFC permite un estudio no invasivo de la actividad del SNA mediante diversas técnicas de análisis. Así, en situaciones en las que predomina la actividad simpática la VFC disminuye, mientras que en situaciones en las que predomina la actividad parasimpática la VFC aumenta (Goldberger, 1990 y 1991).

El comportamiento de la VFC se ve influido por multitud de factores entre los cuales queremos destacar el ejercicio físico. En situación de reposo, existe un equilibrio autónomo entre la actividad simpática y parasimpática sobre el control de la frecuencia cardíaca, pero durante la actividad física, éste se inclina hacia un predominio de la actividad simpática, aumentando así la frecuencia cardíaca y descendiendo la VFC (Poher, 2004; Parekh, 2005; De la Cruz, 2008). Sin embargo, si el ejercicio físico se mantiene en el tiempo se produce un predominio de la actividad parasimpática, lo que da lugar a un descenso de la frecuencia cardíaca de reposo y a un aumento de la VFC (Lee, 2003; Mourot, 2004).

Evidentemente, el ejercicio físico produce cambios en la VFC, pero en lo que no hay acuerdo es en las características de este ejercicio para poder intuir las modificaciones que se producirían sobre la VFC.

PRUEBA DE ESFUERZO O PRUEBA ERGOMÉTRICA

La prueba de ergometría es crítica para evaluar el estado cardíaco de la persona. A través de ella, los datos relevantes serán el *consumo de oxígeno máximo* ($VO_{2\text{máx}}$) y la *frecuencia cardíaca máxima* alcanzada, pues serán los que determinarán los límites de trabajo en la prescripción del programa de ejercicio físico terapéutico.

En el caso de los pacientes diabéticos, la prueba no se debe realizar en condiciones de glucemia superior a 250 mg/dl o inferior a 100 mg/dl, en presencia de cuerpos cetónicos en orina o con la presión arterial sistólica superior a 250 mmHg o la presión arterial diastólica superior a 115 mmHg.

CUALIDADES FÍSICAS

Fuerza muscular

La fuerza puede definirse como la capacidad muscular ejercida contra objetos móviles e inmóviles (Gettman, 2010). Esta cualidad, junto con la resistencia muscular, son específicas de cada grupo muscular, tipo de contracción muscular, velocidad implicada y la angulación en la que se esté produciendo la activación, de modo que es imposible tener un dato que nos indique la fuerza o resistencia muscular total del cuerpo con una sola prueba o medición (Garatachea, 2010).

Dado que la mayoría de las contracciones musculares que tienen lugar en las actividades de la vida diaria son de tipo dinámico, la valoración de la fuerza y resistencia muscular se suele hacer a través de las *pruebas de fuerza muscular máxima dinámica: test 1 RM* (Garatachea, 2010). Como se describía en el Capítulo 11, éste nos indica la resistencia máxima que una persona

puede mover una sola repetición y la forma de realizar el test y hallar el 1 RM es mediante ensayo-error (Garatachea, 2010).

Flexibilidad

La flexibilidad es la capacidad de la persona para poder ejercitar movimientos con una gran amplitud. En la práctica deportiva la flexibilidad se mide con las *pruebas funcionales* que miden la flexibilidad de forma indirecta, es decir, valoran la flexibilidad estática de diferentes estructuras realizando mediciones lineales en determinadas posiciones (Garatachea, 2010). Entre otras, hay que destacar el mayor uso del test de Wells y Dillon (Test «Sit and Reach») y de la prueba de distancia dedos-suelo.

El *test de Wells y Dillon* fue creado en 1952 y sirve para evaluar la flexibilidad en el movimiento flexión de tronco desde la posición de sentado con piernas juntas y extendidas. Mide la amplitud del movimiento en término de centímetros. Se utiliza un banco especial o una tarima de madera sobre la cual está dibujada una escala de graduación numérica. El cero de la misma coincide exactamente con el punto de la tarima donde se apoyan los pies de la persona que se evalúa quien, flexionando el tronco procura con ambas manos lograr la mayor distancia posible. Conforme el ejecutante se aleja de cero, se consideran los centímetros logrados con signo positivo. Si, por el contrario, la persona no alcanza la punta de los pies, se marcan los centímetros que faltan para el cero pero con un signo negativo (Santonja, 1992; Miñaro, 2007; Quintana, 2008) (fig. 12.4).

En la *prueba de distancia dedos-suelo* (Kippers, 1987; Santonja, 1992; Segal 2004; Miñaro, 2007; Quintana, 2008) el sujeto se coloca en bipedestación sobre un cajón elevado, que porta una regla milimetrada de unos 30 cm y con los pies separados a la anchura de los hombros. A continuación, el sujeto flexiona el tronco al máximo de forma progresiva, manteniendo las rodillas extendidas. Los hombros se flexionan en torno a 90°, mientras que los codos, muñecas y dedos permanecen extendidos caudalmente. Se mide en centímetros la distancia existente entre los dedos de las manos y los pies, pudiendo faltar para llegar a ellos o excederse de la superficie de apoyo (Santonja, 1992). Serán valores positivos todos los que sobrepasen la línea de la planta de los pies y negativos todos los que no la alcancen (Quintana, 2008). El resultado de la prueba se calcula hallando la media de la distancia obtenida en tres intentos consecutivos (Miñaro, 2007).

Podríamos decir que, en esencia, es igual que el test de Wells y Dillon; la mayor diferencia es que se realiza desde la posición de pie en lugar de la de sentado, de manera que la fuerza de gravedad puede, eventualmente, ejercer un efecto favorecedor. También mide la flexibilidad en centímetros (fig. 12.5).

Sin duda alguna, ambos tests constituyen un recurso verdaderamente ágil y dinámico cuando la intención es evaluar masivamente a una persona. Sin embargo, presenta una serie de desventajas que podrían resumirse brevemente de la siguiente manera: a) no neutraliza las

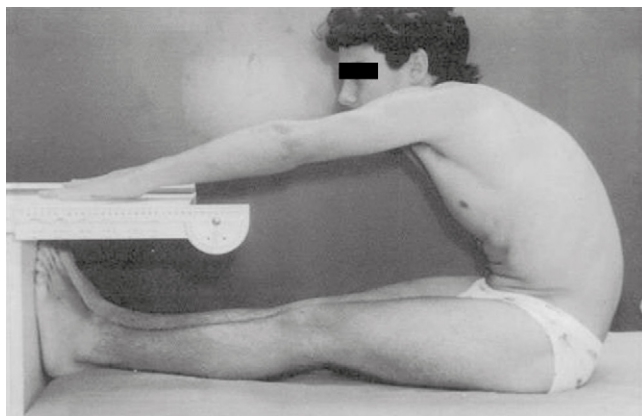


FIGURA 12.4 Test de Wells y Dillon o «Sit and Reach» (Santonja, 1992).

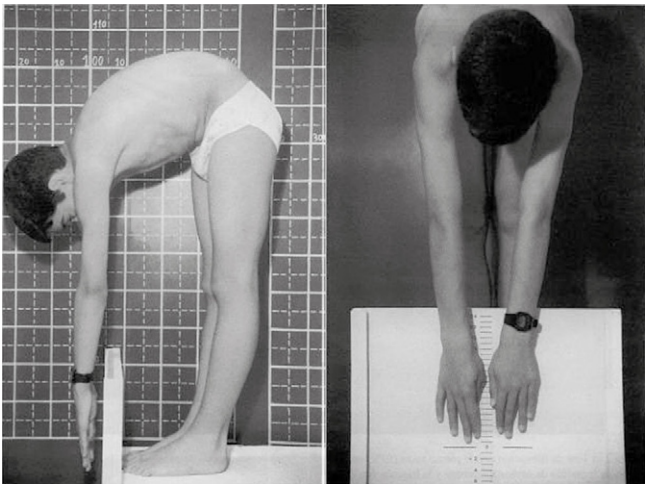


FIGURA 12.5 Prueba de distancia dedos-suelo (Santonja, 1992).

variables individuales. Así, sujetos de tronco y brazos largos y piernas cortas se ven notablemente favorecidos; b) tampoco permite identificar el efecto limitante de cada músculo por separado sobre la amplitud de movimiento alcanzada, y c) no se puede definir con claridad hasta qué punto se evalúa la flexibilidad asistida respecto a la no asistida. Así, algunas personas, para lograr un mayor valoración recurren a una fuerte contracción de los músculos abdominales mientras que otras, por el contrario, simplemente se dejan caer y permiten que el propio peso corporal favorezca el logro de una mayor amplitud de recorrido articular.

A pesar de estas notorias desventajas, no se debe dejar de lado esta propuesta, puesto que resulta de implementación ágil, dinámica y efectiva a la hora de evaluar a un elevado número de personas.

En resumen, aportamos un ejemplo de historia clínica con todos los parámetros que deberíamos recoger en la primera cita con un paciente (tabla 12.4).

TABLA 12.4 Historia clínica

N.º de historia: Nombre y apellidos	Fecha:
Anamnesis	Antecedentes familiares y personales Existencia de otras patologías importantes Nivel de actividad física Hábitos alimenticios
Datos antropométricos	Edad (años)
	Peso (kg)
	Talla (cm)
	IMC (%)
Datos cardiovasculares	FC y VFC
	TA
	Índice glucémico
Valoración funcional	Prueba ergométrica (VO_{2max} , FC_{max})
	Test de fuerza
	Test de flexibilidad: test Sit and Reach y prueba de distancia dedos-suelo
Otros aspectos importantes	Examen neurológico, oftalmológico, etc.

IMC: índice de masa corporal; FC: frecuencia cardíaca; TA: presión arterial; VFC: variabilidad de la frecuencia cardíaca; VO_2 : consumo de oxígeno.

PRESCRIPCIÓN DEL EJERCICIO FÍSICO TERAPÉUTICO EN PACIENTES CON CARDIOPATÍA Y/O DIABETES

Las recomendaciones para la prescripción del ejercicio físico terapéutico en estas dos poblaciones especiales, que hoy en día demandan nuestra profesión son las siguientes:

El tipo del ejercicio debe ser primordialmente la *actividad aeróbica*, para la mejora a nivel cardiorrespiratorio. El ejercicio más recomendado es caminar o la bicicleta, dependiendo de factores de riesgo adicionales que pueda presentar la persona, como la obesidad. Esta actividad debe ser complementada con un *entrenamiento de fuerza resistencia*, en torno al 40-60% de 1 RM, donde se trabajen un mínimo de ocho grupos musculares y se realicen de 10-15 repeticiones (DeGroot, 1998), así como con trabajo de *flexibilidad* de la musculatura empleada durante la sesión, mediante estiramientos estáticos, dinámicos o PNF.

Hay que mencionar que uno de los grandes avances en el entrenamiento de fuerza ha sido la incorporación del *trabajo excéntrico* en los programas de entrenamiento, pero no sólo desde un punto de vista de la salud o rendimiento (Sheppard, 2008) sino también para el tratamiento de patologías, incluyendo las enfermedades cardiovasculares (Meyer, 2003; Carranza, 2009) y la diabetes (Marcus, 1999). Es bien conocido que las acciones musculares excéntricas son capaces de generar mayores niveles de fuerza con menores niveles de activación muscular (Moritani, 1987; Tesch, 1990), requieren un menor coste metabólico (Bigland-Ritchie, 1976; Lastayo, 1999; Dufour, 2007) y producen un mayor daño muscular que las acciones musculares concéntricas (Newham, 1983; Gibala, 1995; Moore, 2005) (fig. 12.6).

Los diferentes estudios que han investigado sobre el número de veces que es necesario hacer ejercicio a la semana establecen que existen efectos positivos con *frecuencias de 3 a 5 días a la semana* (Dunstan, 1998; Honkola, 1998; Ishii, 1998).



FIGURA 12.6 Ejemplo de ejercicio excéntrico con banda elástica.

En cuanto a la *intensidad*, el ejercicio aeróbico a una intensidad moderada, correspondiente al 40-60% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ o 60-80% de la frecuencia cardíaca máxima, produce efectos muy positivos y limita los riesgos asociados con intensidades más elevadas; en relación con el entrenamiento de fuerza, éste debe ir enfocado a la fuerza resistencia con una moderada intensidad. Los estudios marcan unos porcentajes en torno al 40-60% de 1 RM (Dunstan, 1998; Ishii, 1998; Maiorana, 2002).

En cuanto a la *duración* de la sesión de entrenamiento y dependiendo de la patología exacta del sujeto, debe tener una duración mínima de entre 20 y 60 minutos (ACSM, 2000; CDA, 2003). Se recomienda tender a realizar 60 minutos con la finalidad de incluir en el entrenamiento un buen calentamiento para preparar el organismo y vuelta a la calma, fundamentada en estiramientos.

Imprescindible para el profesional es conocer los síntomas que indican una indisposición cardíaca cuando se está realizando ejercicio son: el dolor en el pecho, cuello, brazo u hombro izquierdo es uno de los más importantes. La palidez, transpiración fría, palpitaciones, la súbita debilidad o la falta de aire no deben ser ignoradas. Ante la presencia de estos síntomas es necesario detener el ejercicio y consultar al médico (tabla 12.5).

Algunas *consideraciones* acerca del día del ejercicio propiamente dicho son las siguientes:

- En la medida de lo posible es imprescindible el uso de un *pulsómetro* durante la realización del ejercicio (mejor si es por parte del sujeto) con la finalidad de controlar bien la intensidad del ejercicio por medio de la frecuencia cardíaca y de las adaptaciones del organismo al entrenamiento por medio de la VFC. Una de las novedades introducidas en el control y seguimiento del entrenamiento de personas con patología cardíaca y diabéticos es la utilización del parámetro de la VFC, debido a la información que proporciona sobre el balance simpático-parasimpático sobre el corazón. Dado que el ejercicio físico provoca una alteración en el control autónomo sobre el corazón hacia un predominio de la actividad simpática y el entrenamiento prolongado, un predominio parasimpático sobre el corazón, se ha demostrado que la VFC es un buen indicador del nivel de actividad cardíaca. Aunque el ejercicio agudo provoca un descenso de la VFC aceptable en pacientes cardiopatas (De la Cruz, 2008), se ha analizado la VFC en pacientes que habían sufrido un infarto agudo de miocardio y que posteriormente habían sido incluidos en un programa de rehabilitación, basado en 2 semanas de tratamiento convencional y 2 semanas de entrenamiento aeróbico en un cicloergómetro a una carga del 80% del umbral anaeróbico durante 10 minutos, dos veces al día. Tras este programa, estos pacientes manifiestan un incremento de la VFC debido a un cambio en el balance simpático-vagal caracterizado por un descenso del tono simpático y un aumento del tono parasimpático (Fujimoto, 1999). Lo mismo ocurrió en estudios realizados sobre la repercusión del ejercicio físico en pacientes diabéticos analizada a través de la VFC (Dewey 2007; Sarabia, 2009; Sridhar, 2010).
- Verificar los niveles de presión arterial, antes y después del ejercicio.
- En diabéticos, también verificar los niveles de glucosa en sangre, antes y después del ejercicio.

TABLA 12.5 Resumen de las recomendaciones para el ejercicio físico en cardiopatas y/o diabéticos

Ejercicio físico terapéutico para cardiopatas y/o diabéticos	
Tipo de ejercicio	Caminar, bicicleta, estiramientos, bandas elásticas
Frecuencia	3-5 días / semana
Duración	60 minutos
Intensidad	• Ejercicio aeróbico: 40-60% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ o 60-80% de la $\text{FC}_{\text{máx}}$ • Fuerza resistencia: 40-60% del 1 RM

FC: frecuencia cardíaca; RM: repetición máxima; VO_2 : consumo de oxígeno.

- En diabéticos, fundamentalmente tipo 1, deben llevar alimentos que contengan hidratos de carbono de acción rápida en caso de que el paciente se ponga hipoglucémico durante y después del ejercicio.
- En personas con diabetes de tipo 1, los pies requieren una atención especial, ya que las neuropatías periféricas producen pérdida de sensación y el deterioro de la circulación periférica reduce el flujo sanguíneo. Estas personas pueden no percibir lesiones en sus pies, y éstas pueden ser muy graves.
- En diabéticos, también portar la tarjeta de identificación como diabético y un teléfono móvil o monedas para hacer una llamada en caso de emergencia (112 o 061).
- También se pueden registrar las sensaciones de los sujetos por medio de la escala de Borg (Borg, 1970), con la finalidad de conocer la percepción del esfuerzo subjetiva de los sujetos.

Bibliografía

- American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exercise* 1998;30:975-91.
- American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
- American College of Sports Medicine. Progression models in resistance training for healthy adults. Position Stand. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(2):364-80.
- Bigland-Ritchie B, Woods J. Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *J Physiol* 1976;260:267-77.
- Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 1970;2(2):92-8.
- Bouchard C, Depres JP, Tremblay A. Exercise and obesity. *Obesity Res* 1993;1:133-47.
- Canadian Diabetes Association Clinical Guidelines Expert Committee. Physical activity and diabetes. *Can J Diabetes* 2003;27:S24-26.
- Carranza MD, Naranjo J, Cayetano ML, Rueda JD, De la Cruz B, Molina JM, et al. Programa de actividad física reglada de corta duración en pacientes con enfermedades crónicas (1.ª ed). Sevilla: Consejería de Turismo, Comercio y Deporte; 2009.
- De la Cruz B, López C, Naranjo J. Analysis of heart rate variability at rest and during aerobic exercise. A study in healthy people and cardiac patients. *Br J Sports Med* 2008;42:715-20.
- Dewey FE, Freeman JV, Engel G, Oviedo R, Abrol N, Ahmed N, et al. Novel predictor of prognosis from exercise stress testing: heart rate variability response to the exercise treadmill test. *Am Heart J* 2007;153(2):281-8.
- DeGroot DW, Quinn TJ, Kertzer R, Vroman NB, Olney WB. Circuit weight training in cardiac patients: determining optimal workloads for safety and energy expenditure. *J Cardiopulm Rehabil* 1998;18(2):145-52.
- Dufour SP, Doutreleau S, Lonsdorfer-Wolf E, Lampert E, Hirth C, Piquard F, et al. Deciphering the metabolic and mechanical contributions to the exercise-induced circulatory response: insights from eccentric cycling. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2007;292:R1641-8.
- Duncan JJ, Farr JE, Upton SJ, Hagan RD, Oglesby ME, Blair SN. The effects of aerobic exercise on plasma catecholamines and blood pressure in patients with mild essential hypertension. *JAMA* 1985;254:2609-13.
- Dunstan DW, Puddey IB, Beilin LJ, Burke V, Morton AR, Stanton KG. Effects of a short-term circuit weight training program on glycaemic control in NIDDM. *Diabetes Res Clin Pract* 1998;40(1):53-61.
- Fujimoto S, Uemura S, Tomoda Y, Yamamoto H, Matsukura Y, Horii M, et al. Effects of exercise training on the heart rate variability and QT dispersion of patients with acute myocardial infarction. *Jpn Circ J* 1999;63:577-82.
- Garatachea N. Evaluación de la capacidad física: selección y administración de protocolos. In: Márquez S, Garatachea N (eds.). *Actividad física y Salud*. (1st ed) Madrid: Díaz de Santos; 2010.
- García M. Los españoles y el deporte: prácticas y comportamientos en la última década del siglo XX. Encuesta sobre hábitos deportivos de españoles. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Consejo Superior de Deportes; 2000.
- Gettman LR. Evaluación del fitness. In: Márquez S, Garatachea N (eds.). *Actividad física y Salud*. (1st ed) Madrid: Díaz de Santos; 2010.
- Gibala MJ, MacGougall JD, Tamopolsky MA, Stauber WT, Elorriaga A. Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *J Appl Physiol* 1995;78:702-8.
- Goldberger AL, Rigney DR, West BJ. Caos y Fractales en la fisiología humana. *Investigación y Ciencia* 1990;63:31-8.
- Goldberger AL. Is the normal heartbeat chaotic or homeostatic? *News Physiol Sci* 1991;6:87-91.
- Greene NP, Martin SE, Croase SF. Acute Exercise and training alter blood lipid and lipoprotein profiles differently in overweight and obese men and women. *Obesity* 2012;. doi:10.1038/oby.2012.65.
- Hagberg JM. Exercise, fitness and hypertension. In: Bouchard C, Shephard RJ, Stephens T, Sutton JR, McPherson BD (eds.). *Exercise, Fitness and Health*. Champaign: Human Kinetics Publishers; 1990. p. 455-66.
- Haskell WL. The influence of exercise training on plasma lipids and lipoproteins in health and disease. *Acta Med Scand* 1986;711(Suppl):25-37.

- Honkola A, Forsén T, Eriksson J. Resistance training improves the metabolic profile in individuals with type 2 diabetes. *Acta Diabetol* 1997;34(4):245-8.
- Ishii T, Yamakita T, Sato T, Tanaka S, Fujii S. Resistance training improves insulin sensitivity in NIDDM subjects without altering maximal oxygen uptake. *Diabetes Care* 1998;21(8):1353-5.
- Ivy JL. The insulin-like effect of muscle contraction. *Exerc Sports Sci Rev* 1987;15:29-51.
- Jiménez A. Recomendaciones básicas en la prescripción de actividad física orientada hacia la salud. In: Márquez S, Garatachea N (eds.). *Actividad física y Salud*. (1st ed) Madrid: Díaz de Santos; 2010. p. 279-96.
- Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training heart rate: a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 1957;35:307-15.
- Kippers V, Parker AW. Toe-Touch Test: a measure of its validity. *Phys Ther* 1987;67(11):1680-4.
- Kisner C, Allen L. *Ejercicio Terapéutico* (1st ed). Barcelona: Paidotribo; 2005.
- Koivisto VA, Yki-Jarvinen H, DeFronzo RA. Physical training and insulin sensitivity. *Diabetes Metab Rev* 1986;1:445-81.
- Lastayo PC, Reich TE, Urquhart M, Hoppeler H, Lindstedt SL. Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strength can occur with little demand for oxygen. *Am J Physiol* 1999;276:R611-5.
- Lee CM, Wood RH, Welsch MA. Influence of short-term endurance exercise training on heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(6):961-9.
- León AS, Sánchez OA. Response of blood lipids and lipoproteins to exercise training alone or combined with dietary intervention. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:S502-15.
- Maiorana A, O'Driscoll G, Goodman C, Taylor R, Green D. Combined aerobic and resistance exercise improves glycaemic control and fitness in type 2 diabetes. *Diabetes Res Clin Pract* 2002;56(2):115-23.
- Marcus RL, Smith S, Morrell G, Addison O, Dibble LE, Wahoff-Stice D, et al. Comparison of combined aerobic and high-force eccentric resistance exercise with aerobic exercise only for people with 2 diabetes mellitus. *Phys Ther* 2008;88:1345-54.
- Meyer K, Steiner R, Lastayo P, Lippuner K, Allemann Y, Eberli F, et al. Eccentric exercise in coronary patients: central hemodynamic and metabolic responses. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1076-82.
- Miñarro PA, Andújar PS, García PL, Toro EO. A comparison of the spine posture among several sit-and-reach test protocols. *J Sci Med Sport* 2007;10(6):456-62.
- Moreno JA, Martínez C, González-Cutre D, Cervelló E. Motivación hacia la práctica físico-deportiva en personas mayores. In: Martín EH, Gomes de Sousa R (eds.). *Atividade física e envelhecimento saudável*. (1st ed) Rio de Janeiro: Shape; 2008. p. 153-69.
- Moritani T, Muramatsu S, Muro M. Activity of motor units during concentric and eccentric contractions. *Am J Phys Med* 1987;66:338-50.
- Moore DR, Phillips SM, Babraj JA, Smith K, Rennie MJ. Myofibrillar and collagen protein synthesis in human skeletal muscle in young men after maximal shortening and lengthening contractions. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2005;288:E1153-9.
- Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Rouillon JD, Regnard J. Quantitative Poincaré plot analysis of heart rate variability: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:79-87.
- Newham DJ, McPhail G, Mills KR, Edwards RH. Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *J Neurol Sci* 1983;61:109-22.
- Parekh A, Lee CM. Heart rate variability alter isocaloric exercise bouts of different intensities. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(4):599-605.
- Piéron M, Telema R, Almond L, Barreiro da Costa. Estilo de vida de jóvenes europeos: un estudio comparativo. *Revista de Educación Física* 1999;76:5-13.
- Pober DM, Braun B, Freedbon PS. Effects of a single bout of exercise on resting heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(7):1140-8.
- Quintana E, Alburquerque F. Evidencia científica de los métodos de evaluación de la elasticidad de la musculatura isquiosural. *Osteopatía Científica* 2008;3(3):115-24.
- Santonja F, Martínez I. Síndrome de acortamiento de la musculatura isquiosural. In: Santonja F, Martínez I (eds.). *Valoración médico-deportiva del escolar*. (1st ed) Murcia: Universidad de Murcia; 1992. p. 245-58.
- Sarabia ME. Acute exercise effects on heart rate variability and heart rate recovery in type I diabetes. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(5):68.
- Sheppard J, Hobson S, Marker M, Taylor K, Chapman D, McGuigan M, et al. The effect of training with accentuated eccentric load counter-movement jumps on strength and power characteristics of high-performance volleyball players. *Int J Sports Sci & Coaching* 2008;3:355-63.
- Sridhar B, Haleagrahara N, Bhat R, Kulur AB, Avabratha S, Adhikary P. Increase in the heart rate variability with deep breathing in diabetic patients after 12-month exercise training. *Tohoku J Exp Med* 2010;220(2):107-13.
- Tesch PA, Dudley GA, Duvoisin MR, Halter BM, Harris T. Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric muscle system. *Acta Physiol Scand* 1990;138:263-71.
- Tipton CM. Exercise training and hypertension: an update. *Exerc Sports Sci Rev* 1991;19:447-505.
- Villar F. Las enfermedades cardiovasculares y sus factores de riesgo en España: hechos y cifras. Madrid: Sociedad Española de Arteriosclerosis; 2003.
- Word PD, Stefanick ML, Williams PT, Haskell WL. The effects on plasma lipoproteins of prudent weight-reducing diet, with or without exercise, in overweight men and women. *N Engl J Med*. 1991;325:461-6.
- Wilmore JH, Costill DL. *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (6th ed). Barcelona: Paidotribo; 2007.

A

Abluciones, 123
 Accidente cerebrovascular, 100
 Acetilcolina (ACh), 20
 Actividad
 fotoeléctrica, 202
 parasimpática, 265
 pasiva, 257
 simpática, 265
 Adenosín trifosfato, 12
 Adherencias del tejido conjuntivo, 197
 Aeroflow, 249, 250
 Aerosol, 84, 122
 Afusiones, 124
 Agentes
 físicos, 3, 5
 contraindicaciones, 6
 desarrollo del feto, 6
 fisioterapeutas embarazadas, 6
 metástasis, 6
 neoplasia, 6
 naturales, 54
 mecánicos, 5
 Aguas
 bicarbonatadas, 114
 carbónicas, 114
 cloruradas, 114
 ferruginosas, 115
 mineromedicinales, 113
 oligometálicas, 115
 radiactivas, 115
 sulfatadas, 114
 sulfuradas, 115
 Alteraciones psicológicas, alivio de las, 213
 Amasamiento, 223
 Analgesia, 71
 Angiogénesis, 40
 Ansiedad, alivio de la, 213
 Antropometría, 92
 Aquastab, 95
 Área
 húmeda, 91
 seca, 91
 Artritis
 idiopática juvenil, 102
 reumatoide, 97
 Artroplastia, 98
 Atención temprana, procedimientos de, 229
 Átomos, cohesión de, 188
 Axones
 amielínicos, 17
 mielinizados, 17

B

Balance simpático-vagal, 269
 Balnearios, 111
 Balnearioterapia, 111, 190

Banda elástica, 249
 Baños, 124
 carbogaseosos, 126
 con aceites esenciales, 126
 con extractos vegetales, 127
 de asiento, 75
 de burbujas, 132
 de calor
 húmedo, 133
 seco, 134
 de espuma, 127
 de oxígeno, 127
 de ozono, 127
 de remolino, 77, 132
 de vapor, 54
 galvánicos, 127
 nasales, 121
 parciales, 76
 intermitentes, 77
 salinos, 127
 solares, 190
 sulfurados, 128
 totales, 76
 Barril, 249
 Biofeedback, 215
 de presión, 240
 Bomba de Na^+/K^+ , 14
 Bosu, 249
 Bronquiectasias, 141

C

Cabezales, 162
 Cadillac, 249
 Calidad de vida, 118
 Calor, 55
 Campo de aislamiento termal, 79
 Canales
 de K^+ , 16
 de Na^+ , 16
 Capacidad aeróbica, 258
 Cápsula abdominal, 241
 Cardiopatía
 coronaria, 258
 isquémica, 258
 Carga gravitacional, 145
 Carrera en agua profunda, 104
 Células satélite, 28
 Centrípeto, aplicación de lavados y
 abluciones, 62
 Centros nerviosos superiores, 32
 Cerebelo, 33
 Chorro, 130
 filiforme, 131
 manual subacuático, 133
 Cicatrización
 de heridas, 191
 del tejido, 196
 Ciclo vicioso. V. *Círculo*
 Cininas, 36
 Circulación
 linfática, 210
 sanguínea, 210
Círculo vicioso
 dolor-contractura muscular-
 isquemia-dolor, 59
 dolor-tensión-dolor, interrumpir, 211
Clapping, 225
 Climatoterapia, 120, 190
 Cloruro de etilo, 84
 Cohesión de los átomos, 188
 Colagenasa, 57
 Cólico del lactante, 228
Combo chair, 249
 Composición corporal, 150
 Compresas, 123
 calientes, 54
 frías
 comerciales de gel, 82
 químicas, 83
 Compresión, 225
 neumática intermitente, 170
 Conciencia corporal, 260
 Condición musculoesquelética, 260
 Conducción, 55
 nerviosa, 71
 Coniometría, 93
 Contracciones
 anticipatorias, 241
 concéntricas, 247
 excéntricas, 105
 graduadas, 25
 isocinéticas, 26
 isométricas, 26, 58
 isotónicas, 26
 Contractura muscular, 78
 Contraindicaciones
 de la hidroterapia, 106
 de los agentes físicos, 6
 Control corporal, 260
 Convección, 55
 Conversión, 56
Core, 252
 Corrientes de aire frío, 84
 Cosmiatría, 228
 Coxartrosis, 112
 CRICER, 70
 Criocinética, 85
 Criosonda, 75
 Crioterapia, 5, 67
 de tipo conductivo, 76
 efecto
 primario, 69
 secundario, 69
 vascular, 71

Cryo-Cuff, 83

Cuerpos celulares, 11

Cyclic strain, 161

D

Delay, 179

Dendritas, 11

Depresión, alivio de la, 213

Depresoterapia, 161

Desarrollo

del feto, 6

tecnológico y científico, 4

Desequilibrio térmico, 69

Despolarización, 14

Desprendimiento de células epiteliales, 228

Diabetes mellitus, 258

Diapédesis, 35

Difracción, 188

Dinamometría, 93

Discapacidad intelectual, 100

Diseño de programas de ejercicios
en agua, 92

Dolor

agudo, 41

alivio, 210

inducido por el frío, 76

neuropático, 41

nociceptivo, 41

referido, 46

visceral, 46

Drenaje, 141

Ducha, 128

babosa, 129

circular, 129

de lluvia, 129

escocesa, 130

faríngea, 122

filiforme, 129

masaje, 131

E

Edema

agravamiento, 58

postraumático, 72

Efecto

fotoquímico de la radiación

ultravioleta, 191

primario de la crioterapia, 69

químico, 3

secundario de la crioterapia, 69

térmico, 3

vascular de la crioterapia, 71

Eicosanoides, 36

Eje cráneo-sacro, 237

Ejercicio físico, 235

preventivo, 257

terapéutico, 258

Elefantiasis, 192

Embarazo, bienestar durante el, 103

Energía fotónica, 187

Enfermedad cardiovascular, 236

Ensayos clínicos controlados, 68

Entrenamiento de fuerza-resistencia, 268

Envolturas, 123

frías, 81

congeladas, 81

Epidermis, engrosamiento, 203

Equilibrio

mejora del, 150

metabólico, recuperación, 210

Ergometría, 93

Eritema, 202

Esclerosis múltiple, 101

Esfuerzo físico, 257

Espirometría, 93

Espondiloartrosis, 112

Estabilidad, 260

Estéticos, procedimientos, 228

Estimulación precoz, 229

Estímulos nociceptivos, 212

Evaporación, 56

Evidencia científica, 3

Exfoliación, 169

Experiencia clínica del profesional, 3

F

Facilitación neuromuscular

propioceptiva, 261

Factor de crecimiento endotelial

vascular, 40

Fangos (o lodos), 54, 116

Fase espiratoria, 141

Feto, desarrollo del, 6

Fibromialgia, 99, 113

Fibrosis quística, 141

Fisioterapeutas embarazadas, 6

Fisioterapia

basada en la evidencia, 2

general, 2

respiratoria, 140

Fit ball, 249, 250

Fitness muscular, 237

Flaccidez cutánea, 164

Fluidos, resistencia de, 90

Flujo

axoplásmico, 11

espiratorio, 140

Fluorescencia, 202

Fluoruro de metano, 84

Flúter, 142

Foam

balls, 250

roller, 250

Fomentos, 123

Fototerapia, 185

mediante infrarrojos, 6

Fototipos cutáneos, 202

Frecuencia oscilatoria, 141

Fricción, 221

transversa profunda de Cyriax, 221

Frío

intolerancia al, 86

urticaria al, 86

Frotación, 217

Función visceral, 237

G

Ganglios basales, 33

Gargarismos, 122

Gas frío, 85

Gel de sílice, 82

Germicida, 203

Glucemia, 263

capilar, 264

Gradiente de presión ascendente, 173

Grado de despolarización, 21

H

Helioterapia, 190

Hidrocinestoterapia, 92

enfoque lógico del ejercicio, 96

técnicas

articulares, 94

neuromusculares, 94

Hidroterapia, 90

contraindicaciones, 106

Hielo

añadido, 81

aplicación local de, 77

masaje con, 78

finés analgésicos, 78

paquetes de, 79

Higiene, 91

Hiperbilirrubinemia, 200

Hipergravedad, 145

Hiperpolarización, 14

Hipertrofia del músculo, 28

Hipotermia local, 74

Histamina, 36

Hormonas anabólicas, 148

Hueso trabecular, 149

Huff, 143

Husos musculares, 29

I

Inclinómetro, 240

Índice cintura-cadera, 263

Inflamación, 33

agravamiento, 58

Inflow, 176

Inmersiones, 76

intermitentes, 77

Interfaz fascia-músculo

esquelético, 166

Interferencia, fenómenos de, 188

Interleucinas, 38

Intolerancia al frío, 86

Irrigación nasal, 121

L

Lavados, 123

retronasal, 121

Lesión

cerebral adquirida, 100

hipóxica secundaria, 72

Linfedema, 212

Lipólisis, 151

Lodos, 116

Longitud de onda, 189

Lubricante, 215

Lumbalgia, 99, 113

Luz

indirecta, 216

propagación de, 188

M

Magic circle, 249

Manguitos fríos, 83

Maniluvio, 125
 Marginación leucocitaria, 35
 Masaje, 209
 con hielo, 78
 aplicado con fines
 analgésicos, 78
 efecto de bombeo, 212
 evitar la fatiga, 214
 grado de presión, 214
 lubricante, 215
 respuesta
 humoral, 210
 nerviosa, 210
 standing fall-out, 214
 walk standing, 214
 Masoterapia, 209
 Melanina, 203
 Melanocitos, 203
 Membrana, permeabilidad de, 13
 Metástasis, 6
 Micosis fúngicas, 203
 Microcirculación, 204
 Mioestatin, 29
 Miofibrillas, 18
 Modalidades físicas, 5
 Modelo cuántico, 187
 Mucosidad, 140
 Muerte celular programada, 35
 Músculo(s)
 cardíaco, 18
 esquelético, 18
 estabilizadores globales, 247
 hipertrofia, 28
 liso, 18

N

Nebulizaciones, 122
 Neoplasia, 6
 Neuroglía, 10
 Neuronas, 10
 Núcleos, 33

O

Obesidad, 104
 Ondas electromagnéticas, 63
 Órganos tendinosos de Golgi, 29
 Ortometría, 93
 Osteoartritis, 97
 Osteomalacia, 204
 Osteomielitis, 204
 Osteoporosis, 104, 149, 192

P

Palper rouser, 163
 Parafangos, 116
 Parafina, 60
 Parálisis cerebral, 101
 en el adulto, 101
 infantil, 102
 Pasillos de marcha, 135
 Patrones de reclutamiento, 240
 Pediluvio, 125
 Pellizcamiento, 223
 Peloides, 61
 Peloides, 115
 Percusión, 224

Período refractario, 16
 absoluto, 16
 relativo, 17
 Permeabilidad de la membrana, 13
 Pigmentación de la piel, 191, 203
 Pilates fisioterapéutico, 244
 Plataformas vibratorias, 5, 144
 basculantes, 151
 de vibración
 oscilante o sinusoidal, 152
 triplanar, 152
 vertical, 152
 Pliometría, 105
 Polarización, 188
 Posición
 articular, sentido de, 73
 del paciente, 142
 Posmenopausia, 103
 Potencial(es)
 de acción, 14
 de membrana, 12
 en reposo, 12
Powerhouse, 245, 252
 Práctica clínica, 3
 Presión
 aplicada, 142
 ascendente, gradiente de, 173
 suave, 217
 Presoterapia, 161
 Primera ley de la termodinámica (de la conservación de la energía), 54
 Procedimiento(s)
 físico, 53
 generales, 2
 Profesionales
 de la salud, 4
 experiencia clínica, 3
 Propagación de la luz, 188
 Prostaglandinas, 42
 Proteína(s)
 C reactiva, 36
 del complemento, 38
 quinasas, 20
 Provitaminas, 203
 Prueba de distancia dedos-suelo, 266
 Psoriasis, 192, 200
 Puentes cruzados, 22
 Pulverización faríngea, 122
 Punto doloroso, 78

Q

Quimiotaxis, 35

R

Radiación, 56
 electromagnética, 185, 187
 infrarroja, 186
 acción
 descontracturante, 196
 relajante, 196
 adherencias del tejido
 conjuntivo, 197
 ángulo de incidencia de
 lámpara, 194
 cicatrización, 196, 197
 efecto analgésico, 196

placas psoriásicas, 197
 rigidez
 articular, 197
 muscular, 197
 vasodilatación, 196
 ultravioleta, 186
 efectos
 actividad fotoeléctrica, 202
 antirraquítico, 200
 bactericida, 200
 fluorescencia, 202
 fotoquímico, 191, 200
 pigmentación, 203
 hiperbilirrubinemia, 200
 psoriasis, 200
 raquitismo, 200
 tipo
 A, 199
 B, 199
 C, 199
 tuberculosis, 200
 Radioterapia, 185
 Raquitismo, 192, 200, 203
 Razonamiento clínico, 5
 Reacción histamínica, 72
 Receptor(es)
 nicotínico, 21
 vanilloides, 41
 Reeducción postural global, 237
 Reestabilización inhibitoria activa, 247
 Reflejo
 tónico vibrátil, 145, 148
 visceral, 229
 Reflexión, 188
Reformer, 249
 Refracción, 188
 Relación fisioterapeuta-paciente, 215
 Relajación muscular, 210
 Repolarización, 14
 Resistencia
 de fluidos, 90
 muscular, 95
 analítica, 150
 Respuesta
 humoral al masaje, 210
 nerviosa al masaje, 210
 Rigidez
 articular, 197
 muscular, 197
 Ritmo metabólico basal, incremento
 del, 150
 RM
 1 RM, 236
 10 RM, 236
 Roce superficial, 216
 Rodamiento, 218

S

Sacudidas, 25, 227
 Sarcoplasma, 21
 Sauna, 62
 finlandesa, 134
 Secreciones bronquiales, 140
 Segunda ley de la termodinámica, 55
 Seguridad, 91
 Semicupio, 125

Sentido de posición articular, 73
 Síndrome
 fibromiálgico, 99
 pospolio, 102
 Sistema
 estabilizador, 241
 global, 243
 movilizador, 242
 muscular movilizador, 247
Standing fall-out, 214
 Subsistema de control activo, 240
 Succión mecánica controlada, 162
 Sudoración, 191
 Sustancias
 fotosensibilizantes, 205
 inflamatorias, 212
 opioides endógenas, 46
 P, 42

T

Talasoterapia, 117
 Técnicas
 articulares en hidrocinésiterapia, 94
 neuromusculares en
 hidrocinésiterapia, 94
 Tejido
 celular subcutáneo, 166
 conjuntivo, 19
 nervioso, 10
 Temperatura, 55
 indiferente, 57
 intraarticular, 74
 Teoría
 de los filamentos deslizantes, 21
 del control de la compuerta, 45

Terapia
 acuática
 diseño de programas de ejercicios, 92
 sesión de, 92
 fotodinámica, 204
 PUVA, 204
 Termodinámica
 primera ley (de la conservación de la
 energía), 54
 segunda ley, 55
 Termoterapia, 5, 192
 en pacientes con fiebre, 59
 Test
 de Wells y Dillon, 266
 1 RM, 265
 Tetania
 completa, 26
 parcial, 26
Timing muscular, 239
 Tolerancia cutánea, 57
 Toma de decisiones, 3
 Trabajo excéntrico, 268
 Transporte axonal, 11
 Trofismo, 212
 Tropomiosina-troponina, 22
 Tuberculosis, 192, 200
 Túbulos T, 21

U

Umbral anaeróbico, 236
 Unidad motora, 19, 29
 Urticaria al frío, 86
 UVA, 199
 UVB, 199
 UVC, 199

V

Vaciado venoso, 219
 Vacuumterapia, 161
 Vaporarium, 122
 Vasodilatación, 57, 196
 profunda, 72
 Ventilación mecánica, 141
 Vía
 neoespinotalámica, 44
 paleoespinotalámica, 44
 Vibraciones, 139, 226
 amplitud, 153
 de cuerpo completo, 143
 tareas motrices, 144
 frecuencia, 153
 torácicas, 140
 Vibroterapia, 139, 141
 altas aceleraciones, 145
 torácica
 drenaje, 141
 fase espiratoria, 141
 frecuencia oscilatoria, 141
 posición del paciente, 142
 presión aplicada, 142
 ventilación mecánica, 141
 Vitamina D₃, 203
 VO_{2máx}, 265

W

Walk standing, 214
Whole body vibration, 143
Wunda, 249